



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE DO PARANÁ
CAMPUS LUIZ MENEGHEL
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

LUCAS PINTO DE FARIA

**CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE
SEMENTES DE TRIGO CULTIVADO COM DOSES DE NITROGÊNIO E DE
TRINEXAPAC-ETHYL**

BANDEIRANTES, PR, BRASIL

2020

LUCAS PINTO DE FARIA

**CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE
SEMENTES DE TRIGO CULTIVADO COM DOSES DE NITROGÊNIO E DE
TRINEXAPAC-ETHYL**

Dissertação apresentada ao Programa de
Mestrado em Agronomia, da Universidade
Estadual do Norte do Paraná, *Campus* Luiz
Meneghel.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Ricardo Silva

BANDEIRANTES, PR, BRASIL

2020

Ficha catalográfica elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UENP

FF235c Faria, Lucas Pinto de
CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E QUALIDADE FISIOLÓGICA
DE SEMENTES DE TRIGO CULTIVADO COM DOSES DE
NITROGÊNIO E DE TRINEXAPAC-ETHYL / Lucas Pinto de
Faria; orientador Sérgio Ricardo Silva -
Bandeirantes, 2020.
50 p. :il.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Agronomia) -
Universidade Estadual do Norte do Paraná, Centro de
Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em
Agronomia, 2020.

1. Triticum aestivum. 2. Adubação nitrogenada. 3.
Hormônio sintético vegetal. 4. Rendimento de grãos.
5. Germinação de sementes. I. Silva, Sérgio Ricardo ,
orient. II. Título.

LUCAS PINTO DE FARIA

**CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE
SEMENTES DE TRIGO CULTIVADO COM DOSES DE NITROGÊNIO E DE
TRINEXAPAC-ETHYL**

Dissertação apresentada ao Programa de
Mestrado em Agronomia, da Universidade
Estadual do Norte do Paraná, *Campus* Luiz
Meneghel.

Aprovado em 11/12/2020

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Sérgio Ricardo Silva – Embrapa Trigo

Prof. Dr. José Henrique Bizzarri Bazzo – UEL

Prof. Dr. Oriel Tiago Kölln – UENP



Prof. Dr. Sérgio Ricardo Silva
Orientador
Embrapa Trigo

DEDICATÓRIA

A Deus e todas energias do universo pelo dom da vida. Aos meus pais e todos meus aliados que estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Ao professor orientador Dr. Sérgio Ricardo Silva pelos apontamentos preciosos e competentes, cuja relevância foi ímpar para a conclusão deste trabalho.

Aos professores membros das bancas de qualificação e/ou de defesa de Mestrado: Dra. Cristina Batista de Lima, Dr. Oriel Tiago Kölln e Dr. José Henrique Bizzarri Bazzo, pelas ricas contribuições para a melhoria da Dissertação.

A todos os professores da Universidade Estadual do Norte do Paraná, cuja intervenção em diferentes momentos propiciou a gestação e conclusão desta pesquisa.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), onde pude realizar meus experimentos de campo e análises laboratoriais. Ao pesquisador Dr. Manoel Carlos Bassoi e ao técnico Fernando Portugal pela disponibilização de infraestrutura e pela realização dos experimentos de campo. Ao pesquisador Dr. José de Barros França Neto, responsável pelo Laboratório de Sementes da Embrapa Soja, à Vilma Cardoso e ao Elpidio Alves, membros da equipe deste laboratório, os quais foram fundamentais no processo de realização das análises laboratoriais de qualidade fisiológica de sementes.

Aos meus pais, Marcia Anghinoni Pinto de Faria e Pedro Aparecido Faria, por todo incentivo e amor incondicional.

À minha namorada Isabelly do Nascimento Sanches, pelo apoio em todo o processo, paciência nos momentos mais difíceis e estímulo para a conclusão do trabalho.

Aos meus amigos que estiveram junto nesta caminhada.

Em especial a Deus, pelos momentos de paciência e sabedoria no decorrer dos anos letivos.

EPIÍGRAFE

*“A educação pode transformar a cultura,
mas somente na medida em que se
tenham transformado seus educadores”.*

Ferguson (1994)

FARIA, Lucas Pinto de. **Características agrônômicas e qualidade fisiológica de sementes de trigo cultivado com doses de nitrogênio e de trinexapac-ethyl**. Dissertação de Mestrado em Agronomia - Universidade Estadual do Norte do Paraná, *Campus Luiz Meneghel*, Bandeirantes, 2020.

RESUMO

O trigo é utilizado como matéria-prima em vários produtos industriais, sendo indispensável no complexo agroindustrial, seja na alimentação humana ou animal. A adubação com nitrogênio (N) é fundamental para a cultura do trigo, pois aumenta seu rendimento de grãos e a qualidade da farinha; porém, ela pode aumentar o acamamento da lavoura. O trinexapac-ethyl é um produto hormonal redutor do crescimento de plantas, e ele é amplamente utilizado para reduzir o acamamento de lavouras de trigo. Neste contexto, o trinexapac-ethyl e o N podem ser manejados em conjunto, diminuindo a possibilidade de acamamento da lavoura e elevando o rendimento de grãos. Além disso, as condições ambientais e os materiais genéticos são fatores que influenciam fortemente a resposta das plantas a doses de N e de trinexapac-ethyl. Finalmente, há pouca informação disponível sobre a influência da adubação nitrogenada e do redutor de crescimento de plantas sobre a qualidade fisiológica das sementes produzidas pela lavoura de trigo. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de doses de N e de trinexapac-ethyl sobre características agrônômicas de plantas e sobre a qualidade fisiológica de sementes de trigo. O experimento foi conduzido em dois ambientes edafoclimáticos, Londrina e Ponta Grossa, em delineamento em blocos casualizados, contendo o arranjo fatorial $2 \times 3 \times 3$, sendo dois genótipos de trigo (WT 15008 e WT 15025), três doses de N (0, 40 e 120 kg ha^{-1}) e três doses do redutor de crescimento de plantas (0, 200 e 400 mL ha^{-1} do produto comercial Moddus®). Foram avaliadas características agrônômicas relacionadas à produtividade do trigo (peso hectolítrico, peso de mil grãos, densidade populacional de plantas férteis, altura e acamamento de plantas, e rendimento de grãos) e características de qualidade fisiológica de sementes (germinação e vigor de sementes—pelos testes de frio e envelhecimento acelerado; comprimento e matéria seca de plântulas). A adubação com a maior dose de N ocasionou efeitos negativos na cultura do trigo, como o maior acamamento de plantas em Londrina e a redução

do vigor das sementes produzidas. A pulverização de trinexapac-ethyl na lavoura de trigo prejudicou a qualidade fisiológica das sementes produzidas, reduzindo o comprimento e a matéria seca de plântulas relacionadas a Londrina e Ponta Grossa. Houve uma ampla diversidade de interações entre os fatores estudados, que influenciaram diretamente as eficiências do trinexapac-ethyl e da adubação nitrogenada sobre a cultura do trigo. O fator genético associado às condições ambientais são os principais determinantes das características agronômicas das plantas de trigo e fisiológicas das sementes produzidas, sobressaindo-se aos efeitos da adubação nitrogenada e da aplicação de trinexapac-ethyl.

Palavras-chave: *Triticum aestivum* L.; Adubação nitrogenada; Hormônio sintético vegetal; Acamamento de plantas; Rendimento de grãos; Germinação de sementes.

FARIA, Lucas Pinto de. **Agronomic characteristics and physiological seed quality of wheat crop grown with rates of nitrogen and trinexapac-ethyl.** Master Dissertation in Agronomy - Universidade Estadual do Norte do Paraná, *Campus* Luiz Meneghel, Bandeirantes, 2020.

ABSTRACT

Wheat is used as a feedstock in several industrial products, being indispensable in the agro-industrial complex, whether in human or animal food. Nitrogen (N) fertilization is essential for wheat crop, as it increases grain yield and flour quality; however, it can increase the lodging of the crop. Trinexapac-ethyl is a hormonal product that reduces plant growth, and it is widely used to reduce the lodging of wheat crops. In this context, trinexapac-ethyl and N can be managed together, decreasing the possibility of crop lodging and increasing grain yield. In addition, environmental conditions and genetic materials are factors that strongly influence the response of plants to rates of N and trinexapac-ethyl. Finally, few information is available on the influence of N fertilization and plant-growth reducer on the physiological quality of seeds produced by wheat crop. The objective of this work was to evaluate the effects of rates of N and trinexapac-ethyl on plant agronomic characteristics and on physiological quality of wheat seeds. The experiment was carried out in two edaphoclimatic environments, Londrina and Ponta Grossa, in a randomized block design, with a $2 \times 3 \times 3$ factorial arrangement, being two wheat genotypes (WT 15008 and WT 15025), three rates of N (0, 40, and 120 kg ha⁻¹) and three rates of the plant-growth reducer (0, 200, and 400 mL ha⁻¹ of the commercial product Moddus®). Agronomic characteristics related to wheat productivity (hectoliter weight, thousand grain weight, density population of fertile plants, plant height and lodging, and grain yield) and physiological quality of seeds (germination and vigor of seeds—by the cold and accelerated aging tests; length and dry matter of seedlings) were evaluated. The fertilization with higher N rate caused negative effects on wheat crop, such as greater plant lodging in Londrina and reduced vigor of the produced seeds. The spraying of trinexapac-ethyl on wheat crop harmed the physiological quality of the seeds produced, reducing the length and dry matter of seedlings related to Londrina and Ponta Grossa. There was a wide diversity of interactions among the studied factors, which directly influenced the efficiencies of

trinexapac-ethyl and N fertilization on the wheat crop. The genetic factor associated with the environmental conditions are the main determinants of the agronomic characteristics of the wheat plants, and of the physiological characteristics of the produced seeds, standing out from the effects of N fertilization and trinexapac-ethyl application.

Key words: *Triticum aestivum* L.; Nitrogen fertilization; Synthetic vegetable hormone; Plant lodging; grain yield; Seed germination.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Precipitação, umidade relativa do ar e temperatura média na estação de crescimento do trigo em 2018 em Londrina (26/04 a 28/08/2018 = 125 dias; gráfico A) e Ponta Grossa (21/06 a 10/11/2018 = 143 dias; gráfico B)22
- Figura 2** – Desdobramentos das interações significativas: 'genótipo x nitrogênio' para acamamento de plantas (gráfico A) e 'nitrogênio x redutor de crescimento' para rendimento de grãos (gráfico B) nas regiões edafoclimáticas de Londrina e Ponta Grossa26
- Figura 3** – Desdobramentos das interações significativas: 'genótipo x redutor de crescimento' para comprimento de plântula (gráfico A) e para o teste de germinação (TG) de sementes (gráfico B); 'nitrogênio x redutor de crescimento' para o teste de germinação (TG) de sementes (gráfico C); e 'genótipo x nitrogênio' para germinação no teste de envelhecimento acelerado (EA) de sementes (gráfico D), nas regiões edafoclimáticas de Londrina e Ponta Grossa.....30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização química e física dos solos (camadas de 0-20 e 20-40 cm) dos experimentos de Londrina e Ponta Grossa	18
Tabela 2 – Significância (<i>P-value</i>) da análise de variância (ANOVA) dos efeitos principais (genótipo, dose de nitrogênio e dose de redutor de crescimento) e de suas interações, para características agronômicas de plantas de trigo cultivado nas regiões edafoclimáticas de Londrina e Ponta Grossa na safra de 2018.....	24
Tabela 3 – Comparações múltiplas entre as médias dos tratamentos de cada fator principal (genótipo, dose de nitrogênio e dose de redutor de crescimento), para características agronômicas de plantas de trigo cultivado nas regiões edafoclimáticas de Londrina e Ponta Grossa	25
Tabela 4 – Significância (<i>P-value</i>) da análise de variância (ANOVA) dos efeitos principais (genótipo, dose de nitrogênio e dose de redutor de crescimento) e de suas interações, para testes de qualidade fisiológica das sementes de trigo [previamente cultivado nas regiões edafoclimáticas de Londrina e Ponta Grossa na safra de 2018] em condições laboratoriais.....	28
Tabela 5 – Comparações múltiplas entre as médias dos tratamentos de cada fator principal (genótipo, dose de nitrogênio e dose de redutor de crescimento), para testes de qualidade fisiológica das sementes de trigo [previamente cultivado nas regiões edafoclimáticas de Londrina e Ponta Grossa na safra de 2018] em condições laboratoriais.....	29

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1. Cultura do trigo e seu desenvolvimento no Brasil	5
2.2. Adubação nitrogenada na cultura do trigo	8
2.3. Acamamento de plantas, fatores que o influenciam e alternativas de manejo ...	11
2.4. Hormônios sintéticos utilizados como redutores do crescimento de plantas	12
2.5. Qualidade fisiológica de sementes de trigo e fatores que a influenciam	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	18
4. RESULTADOS	22
4.1. Condições meteorológicas nos estádios fenológicos da cultura do trigo.....	22
4.2. Características agronômicas e produtividade de trigo.....	23
4.3. Qualidade fisiológica de sementes de trigo	27
5. DISCUSSÃO	32
5.1. Características agronômicas e produtividade de trigo.....	32
5.1.1. Efeitos do trinexapac-ethyl aplicado na lavoura de trigo	32
5.1.2. Efeitos da adubação nitrogenada e sua interação com trinexapac-ethyl aplicados na lavoura de trigo.....	34
5.2. Qualidade fisiológica de sementes de trigo	36
5.2.1. Efeitos do trinexapac-ethyl aplicado na lavoura de trigo	36
5.2.2. Efeitos da adubação nitrogenada e sua interação com trinexapac-ethyl aplicados na lavoura de trigo.....	36
5.3. Manejo agrônomo do acamamento de plantas e direcionamentos para pesquisas futuras	37
6. CONCLUSÕES	39
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
REFERÊNCIAS.....	41

1. INTRODUÇÃO

A cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) possui ampla adaptação edafoclimática, sendo cultivada desde regiões com clima desértico até locais com alta precipitação pluviométrica, se tornando o cereal mais consumido do mundo (CONAB, 2017). O trigo é empregado em vários segmentos da indústria, como o alimentício (farinha, biscoitos, bolos, pães, etc.), na composição de produtos não alimentícios (misturas adesivas, embalagens solúveis, antibióticos, cosméticos, etc.), e também na alimentação animal (forragem, grão e ração).

O potencial agrícola da cultura do trigo tem impulsionado números expressivos no cenário nacional, com destaque para o centro-sul do Brasil, sendo que cerca de 90% da produção ocorre na região sul do país, sendo a área brasileira cultivada com trigo na safra de 2019/20 de aproximadamente 2 milhões de hectares (CONAB, 2020). Considerando que a área cultivada tem permanecido praticamente constante nas últimas décadas, o aumento de produção é resultado da melhor produtividade das lavouras trigo, alcançada por meio de melhoramento genético e de novas práticas de manejo, dentre elas, o emprego de sementes de qualidade, fertilização nitrogenada adequada, utilização de reguladores hormonais de crescimento e escolha de ambientes adequados ao desenvolvimento das plantas.

O trigo é frequentemente utilizado em sistemas de rotação de culturas, melhorando o uso do solo, a ciclagem de nutrientes, o controle de plantas invasoras, o controle de insetos, pragas e doenças, e a distribuição da mão-de-obra ao longo do ano agrícola. Portanto, a cultura do trigo viabiliza o sistema plantio direto e favorece a estabilidade econômica do agricultor.

O manejo do nitrogênio (N) é um ponto-chave para o aumento de rendimentos de grãos, e seu caráter técnico-econômico tem contribuído para que a triticultura brasileira se torne mais competitiva. Neste contexto, o N é altamente exigido pela planta e apresenta complexa dinâmica no sistema solo-planta-atmosfera, além de haver diferenças significativas entre as cultivares de trigo quanto ao aproveitamento e à eficiência de uso deste nutriente (BECHE et al., 2014; SILVA et al., 2014). Deste modo, a escolha adequada da melhor cultivar de trigo para cada ambiente edafoclimático e para cada sistema de produção é uma premissa para maximizar a produtividade da cultura (RODRIGUES et al., 2003).

É importante mencionar que existem vários fatores que podem reduzir a eficiência de uso de N pelas plantas de trigo, destacando-se: i) aplicação de N em estádios fenológicos não compatíveis com o ciclo da cultura; ii) doses inadequadas do nutriente; iii) falta de conhecimento técnico específico para cada material genético; e iv) condições ambientais adversas que influenciam a absorção do N pela planta.

Por outro lado, o excesso de chuvas associado a alta disponibilidade de N no solo podem causar o acamamento das plantas, que é um sério problema para a colheita mecanizada e para a qualidade dos grãos (CHASTAIN et al., 2014; ZAGONEL e FERNANDES, 2007). Além disso, o acamamento de plantas reduz a produtividade do trigo, pois limita a translocação de fotoassimilados para a formação dos grãos.

O uso de reguladores de crescimento é uma prática de manejo amplamente adotada pelos triticultores para reduzir o acamamento, visando melhor qualidade e rendimento de grãos (STEFEN et al., 2014). Esses reguladores são compostos hormonais sintéticos utilizados de modo exógeno para reduzir a estatura das plantas, minimizando o efeito do alongamento exagerado da planta (MATYSIAK, 2006).

O principal regulador de crescimento utilizado no Brasil para a cultura do trigo é o trinexapac-ethyl, sendo muito efetivo na redução da altura das plantas (ESPINDULA et al., 2009). Este produto apresenta efeito hormonal que atua nas plantas alterando o equilíbrio das giberelinas, assim, a divisão e o alongamento celular são influenciados pela redução da biossíntese do ácido giberélico (GA_3) através da inibição da enzima 3-hidroxilase (HECKMAN et al., 2002; TAIZ e ZEIGER, 2010). Portanto, este tipo de substância sintética apresenta ações análogas aos hormônios vegetais naturais, modificando ou inibindo processos morfológicos e fisiológicos das plantas (CHORBADJIAN et al., 2011).

O uso de reguladores hormonais de crescimento permite, em alguns casos, o suprimento de maiores doses de N sem ocasionar acamamento de plantas e, consequentemente, possibilitam explorar a capacidade produtiva do material genético (RODRIGUES et al., 2003).

A busca cada vez mais intensa por alta produtividade, em uma mesma extensão de área cultivada, impulsiona o agricultor a adotar novos insumos e tecnologias, para manter-se competitivo em um cenário de menor rentabilidade da cultura do trigo. Deste modo a otimização do manejo de N em conjunto com o regulador de crescimento têm papel fundamental no manejo da cultura. Por outro lado, existe uma grande lacuna de conhecimento sobre os efeitos do uso de regulador de

crescimento sobre a qualidade fisiológica das sementes produzidas na lavoura de trigo pulverizada com este produto. Considerando a grande demanda anual por sementes de trigo e o grande número de produtores especializados nesta atividade (conhecidos como "sementeiros"), principalmente na região Sul do Brasil, é importante a geração de conhecimentos que subsidiem este nicho de mercado, contemplando ou não a adoção destes reguladores de crescimento em campos destinados à produção comercial de sementes.

Sem dúvidas, a qualidade das sementes utilizada na implantação da cultura é um fator fundamental para o bom desenvolvimento e produtividade da lavoura de trigo. De acordo com Sawan (2013), para que se obtenha um resultado satisfatório na colheita de trigo é imprescindível que as sementes apresentem alta qualidade fisiológica. Para uma semente desempenhar suas funções vitais, a qualidade fisiológica da mesma é importante para expressar suas características, principalmente relacionadas à germinação, ao vigor e à longevidade, podendo afetar o desempenho da cultura no campo, com reduções na velocidade de emergência, menor tamanho inicial e/ou desuniformidade das plântulas emergidas, e redução da produção de matéria seca e da área foliar das plântulas (POPINIGIS, 1985; SCHUCH et al., 2009).

A germinação abrange uma sequência de reações bioquímicas que reacendem o crescimento do embrião, seguindo-se no rompimento do tegumento da semente e na emergência da plântula (MALAVASI, 1988). Já o vigor estende-se ao conjunto de características que atribuem à semente o potencial para germinar, emergir e reverter em plântulas normais em condições ambientais adversas (MARCOS FILHO, 1999). Desta forma, o estabelecimento rápido e uniforme das plantas, por meio da utilização de sementes de boa qualidade, pode beneficiar a alcance de rendimentos de grãos mais satisfatórios para o agricultor (LUDWIG et al., 2009).

De acordo com Carvalho e Nakagawa (2012), a adubação nitrogenada pode influenciar o desempenho fisiológico da semente; sendo que seus efeitos diferem em função da espécie vegetal, condições ambientais e estágio de desenvolvimento da planta no qual é realizada a adubação nitrogenada. Além desses fatores, Prando et al. (2013) evidenciam que a qualidade fisiológica das sementes de distintos materiais genéticos responde de forma variada a diferentes doses de N.

O N influencia a qualidade das sementes, pois ele faz parte da constituição de várias moléculas e componentes estruturais da planta, sendo que a quantidade de N absorvido pela planta durante seu ciclo de vida influencia o teor proteico da semente

(KOLCHINSKI e SCHUCH, 2004). Carvalho e Nakagawa (2012), obtiveram na cultura do trigo uma correlação positiva entre o teor de proteína e a qualidade fisiológica das sementes. Durante a germinação, as proteínas da reserva são hidrolisadas para suprir o N, o enxofre e os esqueletos de carbono, que são essenciais na constituição do eixo embrionário e durante a fase de plântulas (PRADO, 2004)

O conhecimento das variáveis que influenciam o potencial produtivo de cada material genético é de grande importância para o agricultor. Neste contexto, as técnicas de manejo agrônomo, as condições edafoclimáticas do ambiente de cultivo e a interação entre esses fatores determinaram o desempenho fisiológico das sementes e o rendimento de grãos.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da adubação nitrogenada e do redutor hormonal de crescimento 'trinexapac-ethyl' sobre características agrônomicas das plantas e qualidade fisiológica das sementes de trigo produzidas nas lavouras em dois ambientes de cultivo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Cultura do trigo e seu desenvolvimento no Brasil

O trigo é uma gramínea da família *Poaceae* e do gênero *Triticum*, com diversas espécies cultivadas, como *T. durum*, *T. spelta*, *T. compactum* e *T. Aestivum* que corresponde à espécie mais cultivada do mundo. O trigo faz parte da agricultura de vários países, ocupando a segunda posição (após o milho) no *ranking* mundial de produção de cereais. Ele está presente em áreas agrícolas compreendidas entre as latitudes de 40° N e 40° S (XIONG et al., 2020) e altitudes de 100 a 4500 m, abrangendo diversos tipos de clima.

O trigo tem sido cultivado em duas condições distintas, sendo classificado como 'trigo de primavera' e 'trigo de inverno' (MAGGIAN e FELIPE, 2009). Trigos de primavera são aqueles em que a transição entre as fases vegetativa e reprodutiva não é acelerada (ou é pouco afetada) pela vernalização. Já os trigos de inverno são aqueles que não possuem alelos dominantes da série de genes *Vrn-1* (*Vrn-A1*, *Vrn-B1* e *Vrn-D1*), necessitando de um tempo de exposição a temperaturas relativamente baixas (processo de vernalização) para florescer, ainda que sob condição de dias longos (EMBRAPA, 2016). No Brasil, utilizam-se predominantemente trigos de primavera, cuja semeadura ocorre principalmente no outono e inverno, aproveitando a estação fria do ano para o melhor desenvolvimento da cultura.

A origem do *Triticum aestivum* ainda não está completamente esclarecida. Segundo Dedecca e Púechio (1952), desde as mais remotas buscas, não se encontrou um exemplar com características que remetesse às variedades hoje cultivadas, sendo a origem mais aceita a de que ele surgiu a partir de híbridos de *Triticum dicoccum* ou *dicoccoides* x *Aegilops squarrosa*, com o cruzamento original realizado há muito tempo no sudeste da Ásia. Após décadas de estudos, vários pesquisadores reafirmam esse pensamento, destacando que a origem do trigo se deu numa região denominada Crescente Fértil, no sudeste asiático (EMBRAPA, 2016). Eles acrescentam que a história do trigo está diretamente vinculada ao desenvolvimento da civilização humana, uma vez que a domesticação do cereal contribuiu para a alteração da vida nômade para o surgimento dos primeiros povoados.

A cultura do trigo é milenar. Por volta de 4.000 a.C., com a descoberta do processo de fermentação, os egípcios aumentaram seu consumo com a produção de pães, derivação até hoje utilizada em todo o mundo (CONAB, 2017). Os chineses utilizavam o cereal há cerca de 2.000 a.C. para elaborar farinha, macarrão e pastéis (FLANDRIN e MONTANARI, 1998).

Devido às suas variações genéticas e, por consequência, ampla utilização, o trigo se espalhou pelo mundo, tendo chegado ao Brasil em 1534, ganhando importância nas lavouras do Rio Grande do Sul e em São Paulo, se expandindo posteriormente para o Paraná, Santa Catarina, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Goiás e Bahia (EMBRAPA, 2016).

Segundo informações da Organização das Nações Unidas – FAO (disponibilizados pela EMBRAPA, 2016), a cultura do trigo ocupa aproximadamente 17% da área cultivada no mundo, representando 30% da produção mundial de grãos (estando em segundo lugar, logo após o milho) e apresentando um consumo médio mundial de 65,7 kg/habitante/ano, sendo 52,3 kg/habitante/ano no Brasil.

O Departamento de Agricultura dos Estados Unidos estimou que na safra de 2019/20 a área cultivada de trigo no mundo foi de 216,94 milhões de hectares com uma produção de 763,91 milhões de toneladas, resultando em um rendimento de grãos médio de 3.522 kg ha⁻¹ (USDA, 2021). Nesta safra no Brasil, a área cultivada, o rendimento e a produção do cereal foram estimados em 2,34 milhões de hectares, 2.663 kg ha⁻¹ e 6,23 milhões de toneladas, respectivamente. Por sua vez, o Paraná obteve uma produção de 3,09 milhões toneladas em uma área cultivada de 1,12 milhões hectares, com uma produtividade média de 2.763 kg ha⁻¹ (CONAB, 2021).

No Brasil, a região Sul detém cerca de 90% da produção nacional de trigo e estima-se que aproximadamente 94,5% desta quantidade seja destinada ao processamento industrial, sendo armazenado em torno de 2,5% como semente (para uso na próxima safra) e o restante utilizado na alimentação animal (MORI e IGNACZAK, 2011).

Atualmente, o trigo é utilizado na alimentação humana (farinha, macarrão, biscoitos, bolos, pães, etc.), na elaboração de produtos não alimentícios (misturas adesivas ou de laminação para papeis ou madeiras, colas, misturas para impressão, agentes surfactantes, embalagens solúveis ou comestíveis, álcool, antibióticos, vitaminas, fármacos, cosméticos, etc.), bem como na alimentação animal na forma de

forragem, de grão ou na composição de rações (MACIEL et al., 2014; SENGER, 2017).

Devido ao melhoramento genético, o trigo possui ampla adaptação edafoclimática, sendo cultivado desde regiões com clima desértico (em alguns países do Oriente Médio), até locais com alta precipitação pluvial, como é o caso do Brasil, China e Índia. No mercado brasileiro, estão disponíveis mais de 106 cultivares de trigo (registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) indicadas para quatro macrorregiões tritícolas brasileiras, permitindo sua adoção pelos agricultores para cultivo em diversas realidades e padrões tecnológicos (MACIEL et al., 2014).

Diante de sua expansão territorial e amplo consumo, foi necessário buscar formas de aprimoramento genético para melhorar as características da planta e a produtividade do trigo. Nesse sentido, os tricultores têm utilizado mais tecnologia e insumos. Deste modo, o melhoramento genético de trigo no Brasil tem colocado mais esforço no desenvolvimento de cultivares responsivas à melhoria das condições de manejo, visando a obtenção de níveis elevados de rendimento de grãos (PIRES et al., 2005). Além disso, o melhoramento genético do trigo tem buscado cultivares com qualidade estável de farinha e resistência/tolerância aos principais estresses bióticos e abióticos. O ideótipo de planta de trigo teria as seguintes características: estatura baixa, precocidade, folhas curtas e eretas, colmo resistente ao acamamento e boa capacidade de perfilhamento (EMBRAPA, 2016).

Assim, o processo de renovação de cultivares de trigo para atender as demandas de mercado, tanto sob o aspecto do produtor como das indústrias alimentícias, requer genótipos com alto rendimento de grãos, ampla adaptação para cultivo nas diferentes regiões produtoras, baixo custo de produção, maior resistência às doenças e com qualidade industrial de farinha que atenda os diferentes mercados consumidores (DOTTO et al., 2001).

Mesmo com todo o avanço em melhoramento genético e em técnicas de manejo cultural, o Brasil não tem sido autossuficiente na produção de trigo, que o leva a importar mais da metade de sua demanda para suprir seu consumo interno (CONAB, 2020). Deste modo, verifica-se a necessidade de incrementar a produtividade agrícola por meio do uso de novas técnicas que maximizem o uso dos insumos, visando um manejo eficiente onde se prioriza a eficiência e a lucratividade no processo produtivo. Neste contexto, o manejo adequado da adubação nitrogenada e de hormônios sintéticos redutores do acamamento de plantas, além do aumento da qualidade

fisiológica das sementes de trigo, são fundamentais para alcançar maiores produtividades de grãos. O incentivo à triticultura no Brasil, por meio de medidas de apoio à produção, fomento e comercialização, contribui para que o país consolide o desenvolvimento e a estabilidade da cultura, diminuindo a dependência externa do produto e tornando-se mais competitivo mundialmente.

2.2. Adubação nitrogenada na cultura do trigo

O N é o nutriente-chave da cultura do trigo, participando da composição de aminoácidos, enzimas, citocromos, clorofila e ácidos nucléicos, e contribuindo para a promoção do crescimento da planta, aumento do teor de proteína e da massa de grãos (CARVALHO, 2005; BERTI et al., 2007; TAIZ e ZEIGER, 2010).

Na cultura do trigo, o N é fundamental à medida que ele é o elemento mais absorvido e exportado pelos grãos, exercendo forte influência sobre a produtividade de grãos (SILVA et al., 2001; PRANDO et al., 2013). Sabe-se que, para a produção de 1.000 kg de grãos de trigo, são exportados em torno de 25 kg de N via colheita (SOUSA e LOBATO, 2004). Assim, em caso de deficiência deste nutriente, todo o processo de crescimento, desenvolvimento e produção das plantas estará comprometido (PÖTTKER e ROMAN, 1998). De acordo com Novais et al. (2007), cerca de 50% ou mais do N absorvido é exportado pela colheita de culturas graníferas, devido ao grande acúmulo de proteínas nos grãos. Deste modo, a aplicação de N aumenta os custos de produção na triticultura, demandando o desenvolvimento de cultivares e práticas de manejo que proporcionem uma maior eficiência de absorção e assimilação deste nutriente pela planta (SCHUCH et al., 2000).

Destaca-se que o N é um dos nutrientes mais exigidos pela maioria das espécies cultivadas, sendo um dos elementos mais abundantes na natureza. Porém, o N encontrado na atmosfera na forma de N_2 não está prontamente disponível para as plantas. O maior reservatório de N nos solos está ligado à cadeia carbônica da matéria orgânica, também em formas não diretamente disponíveis para as plantas. De acordo com Malavolta (1980), o teor de N total da camada de 0–0,20 cm dos solos brasileiros cultivados varia de 0,05 a 0,5%, o que equivale de 1.000 a 10.000 kg ha⁻¹. Segundo Novais et al. (2007), o estoque de N em formas orgânicas no solo (associadas à matéria orgânica) possui grande relevância na fertilidade do solo e nutrição de plantas.

O processo de conversão de formas orgânicas de N para formas inorgânicas disponíveis para as plantas é chamada de 'mineralização', que resulta da ação enzimática conduzida por microrganismos heterotróficos, aeróbios e anaeróbios, que consomem os resíduos vegetais como fontes de carbono, N e energia. Dessa forma, quando mineralizada a matéria orgânica, ocorre a liberação de N inorgânico e ele torna-se disponível para as plantas. Geralmente menos de 5% do N total do solo está em formas inorgânicas como os íons amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) (SÁ, 1997).

O N é o nutriente mais difícil de ser manejado nos solos de regiões tropicais e subtropicais, em virtude do grande número de reações e perdas a que está sujeito, e de sua alta instabilidade no solo (ERNANI et al., 2002). As perdas de N no solo acontecem de várias maneiras: por volatilização de amônia (NH_3), por lixiviação de nitrato (NO_3^-), por desnitrificação de óxido nitroso (N_2O), pela imobilização de N pelos microrganismos, pela erosão e pelo escoamento superficial de água no solo.

Devido às grandes perdas de N no ambiente, o manejo da fertilização nitrogenada é muito complexo. Deste modo, o domínio do conhecimento sobre fertilizantes é essencial para aumentar a sua eficiência e a produtividade das culturas. Segundo Mello (1987), a ureia é um fertilizante que tem apresentado menor eficiência em relação a outras fontes, em virtude de diversas causas, como lixiviação e volatilização do N. Um dos aspectos mais relevantes a ser considerado pelo agricultor é a escolha da fonte mais adequada de fertilizante nitrogenado a ser utilizada na cultura do trigo. O N pode ser fornecido às plantas na forma nítrica (NaNO_3 , KNO_3), amoniacal [$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$], nítrico-amoniacal (NH_4NO_3) e amídica [ureia – $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$] (MIELNICZUK, 1982). Em geral, na cultura do trigo são utilizados a ureia (45% de N), o nitrato de amônio (32% de N) e o sulfato de amônio (21% de N). Porém, existem peculiaridades em cada uma destas fontes de N. Por exemplo, a ureia apresenta menor custo por unidade de N, sendo o fertilizante mais utilizado na agricultura brasileira. O nitrato de amônio e o sulfato de amônio possuem maiores custos, sendo que o sulfato tem fornecimento adicional de enxofre (YANO et al., 2005).

A cultura antecessora, em sistema de sucessão ou rotação ao trigo, influencia a disponibilidade de N no solo, o que reflete no manejo da adubação nitrogenada (BRAZ et al., 2006). Neste contexto, o manejo do N em sistema de plantio direto com sucessão gramínea-gramínea (exemplo: milho-trigo) é dificultado, uma vez que, nos primeiros anos de adoção desse sistema, pode ocorrer a carência inicial de N decorrente da imobilização causada pela decomposição microbiana dos resíduos da

cultura antecessora. Assim, dependendo do caso, pode ser mais eficiente fazer a antecipação da adubação nitrogenada, em relação às recomendações convencionais (KLUTHCOUSKI et al., 2006). Por sua vez, no cultivo de trigo realizado após a colheita da soja (leguminosa), pode-se reduzir a adubação com N. Por outro lado, deve-se aumentar a adição de N se o trigo for cultivado após a safra de milho ou de outra gramínea (CBPTT, 2017).

Por meio da maior disponibilização de N para as plantas de trigo, vários componentes de rendimento de grãos são beneficiados como, por exemplo, o número de espigas por área, o número de espiguetas por espiga, o número de grãos por espiguetas, o tamanho e a massa individual do grão, aumentando a produtividade da cultura (RODRIGUES et al., 2003; TEIXEIRA FILHO et al., 2007; TRINDADE et al., 2006). Além disso, a interceptação da radiação solar pode ser influenciada positivamente pela maior disponibilidade de N, acarretando aumento da eficiência do uso da luz (TRINDADE et al., 2006).

Para que haja um bom incremento de produtividade da lavoura de trigo, deve ser feita a aplicação de N na época apropriada de desenvolvimento da cultura, pois aplicações muito precoces ou muito tardias podem ser pouco assimiladas pelas plantas (SILVA et al., 2005). Os estádios fenológicos de perfilhamento e alongamento do colmo do trigo são considerados épocas ideais para a aplicação de N em cobertura, principalmente na fase compreendida entre 30 e 45 dias após a emergência das plântulas (PIRES et al., 2005). Tal resposta está relacionada ao fato de que, se o N for aplicado no início do ciclo da cultura, há aumento do número de espiguetas por espiga e, conseqüentemente, do número de grãos por espiga (BREDEMEIER e MUNDSTOCK, 2001).

A quantidade de fertilizante nitrogenado a ser aplicado na cultura do trigo varia em função do nível de matéria orgânica do solo, da cultura precedente e da expectativa de rendimento de grãos da cultura, sendo que as doses de N geralmente variam de 10–50 kg ha⁻¹ na semeadura e de 30–90 kg ha⁻¹ em cobertura (CBPTT, 2017). A utilização de maiores doses de N no trigo pode proporcionar efeitos positivos na cultura com reflexo em aumento significativo de produtividade (MEGDA et al., 2009). No entanto, tal prática pode favorecer o acamamento das plantas, causando redução da produtividade e da qualidade dos grãos ou sementes colhidos (ZAGONEL et al., 2002b; RODRIGUES et al., 2003; MASSAROTO et al., 2007; TEIXEIRA FILHO et al., 2010; PAGLIOSA et al., 2013).

Sangoi et al. (2007) comentam que o fator 'cultivar' influencia a eficiência de utilização de N pela planta, além de alterar a capacidade de emissão de perfilhos, o ciclo da cultura e o potencial produtivo de grãos. Eles relataram que estas diferenças entre cultivares podem variar em função das doses e das épocas de aplicação de N na cultura do trigo.

2.3. Acamamento de plantas, fatores que o influenciam e alternativas de manejo

A escolha de uma cultivar com alto potencial de rendimento e qualidade industrial pode implicar em maior uso de insumos, dentre os quais destaca-se a adubação nitrogenada (ZAGONEL et al., 2002a). No entanto, a utilização de maiores doses de N, juntamente com maiores densidades de semeadura e cultivares de maior estatura, pode ser um fator de risco ao acamamento de plantas de trigo, limitando sua produção. Essa condição predispõe as plantas ao acamamento, principalmente quando intensas precipitações e ventos fortes ocorrem no final do ciclo fenológico da cultura, como frequentemente acontece na região sul do Brasil (RODRIGUES e VARGAS, 2002).

Quando o uso excessivo do N resulta em acamamento de plantas de trigo, ocorre comprometimento da produtividade, da qualidade fisiológica de sementes e da qualidade industrial dos grãos (PETROCZI et al., 2008), pois o acamamento proporciona a redução da fotossíntese e da translocação de fotoassimilados (ZAGONEL e FERNANDES, 2007). Além disso, as plantas acamadas perdem sua posição vertical de origem, inclinando-se e caindo sobre o solo, de modo que as espigas ficam expostas a um ambiente mais úmido, aumentando a germinação de grãos e sua deterioração, além de dificultar a colheita mecanizada (CRUZ et al., 2001; ESPINDULA et al., 2010a).

Quando ocorre apenas uma pequena inclinação do colmo, o grão não será prejudicado. No entanto, caso os colmos dobrem ou quebrem, ocorrerão danos pronunciados no rendimento de grãos (FERNANDES, 2009; PENCKOWSKI et al., 2009), principalmente quando estes danos ocorrerem em estádios de desenvolvimento mais precoces da planta, uma vez que há uma limitação da translocação de carboidratos para os grãos (ZANATTA e OERLECKE, 1991). Ademais, as plantas que acamarem antes da colheita ficarão mais suscetíveis a doenças e à germinação de grãos na espiga, diminuindo a qualidade da farinha, além

de dificultar o recolhimento das espigas pela plataforma de corte da colhedora, resultando em perdas de produto no campo (FERNANDES, 2009). Essas espigas mais próximas do solo, em ambiente mais úmido, geralmente apresentam diminuição do peso hectolítrico e aumento do apodrecimento do grão pelo ataque de fungos (ZAGONEL e FERNANDES, 2007; STEFEN et al., 2014).

Quando se usam genótipos de trigo que tenham uma alta estatura natural, a probabilidade de ocorrer acamamento é maior. Além disso, quando essa característica vier associada ao uso prévio de altas doses de adubação, com destaque para o N, o acamamento das plantas será potencializado (CRUZ et al., 2001). Genótipos de trigo com estatura mais baixa, associada a uma melhor estrutura do colmo, geralmente apresentam uma melhor resistência ao acamamento (SOUSA, 1998). Cruz et al. (2001), comentam que a resistência do trigo ao acamamento tem relação com a estatura da planta, uma vez que plantas menores se tornam naturalmente mais resistentes a este dano. Deste modo, atualmente os programas de melhoramento genético do trigo buscam cultivares de menor altura.

Algumas práticas de manejo utilizadas para reduzir o acamamento de plantas incluem: i) melhor arranjo da densidade de plantas por unidade de área; ii) adubação nitrogenada equilibrada; iii) uso de cultivares geneticamente mais resistentes ao acamamento; iv) evitar solos com alta fertilidade (exemplo: áreas com histórico horticultura ou com aplicação de cama de aviário ou dejetos de suínos); v) uso de reguladores hormonais do crescimento de plantas, como o trinexapac-ethyl (BERBERT e STENNING, 1999; MOTTER, 2007; FOLONI et al., 2016). Esses reguladores de crescimento promovem uma redução do comprimento do colmo e, conseqüentemente, da altura das plantas, além de ocasionar o espessamento dos tecidos da base do colmo, reduzindo o acamamento das plantas (RODRIGUES et al., 2003; PENCKOWSKI et al., 2010).

2.4. Hormônios sintéticos utilizados como redutores do crescimento de plantas

Os redutores de crescimento, como o próprio nome diz, reduzem a estatura das plantas e, conseqüentemente, podem aumentar a resistência ao acamamento. Eles são substâncias químicas naturais ou sintéticas que agem contrariamente às giberelinas (RODRIGUES et al., 2003). Dentre essas substâncias, podemos citar o cloreto de 2-cloroetil-trimetil amônio, conhecido como cycocel ou "CCC", o qual foi

utilizado na cultura de trigo na década de 1960 (SENGER, 2017). Posteriormente o Ethephon (2-cloro-etil ácido fosfônico) foi recomendado e amplamente utilizado na cultura de cevada. Outros exemplos incluem o cloreto de mepiquat e cloreto de cloromequat (STEFEN et al., 2014). Em 2002, foi lançado no mercado o trinexapac-ethyl (produto comercial Moddus®), com indicação de uso na cultura do trigo para a redução do crescimento das plantas em altura e para o fortalecimento dos entrenós (BIEZUS, 2010; SOUZA et al., 2013; COSTA et al., 2018).

O trinexapac-ethyl é um hormônio sintético do tipo giberelina, que inibe a síntese natural da própria giberelina. Srivastava (2002) explica que dentre os tipos de giberelina, a mais associada à elongação é o tipo GA₁, sendo que a rota normal da síntese de giberelina é a conversão de GA₂₀ em GA₁. No entanto, quando o trinexapac-ethyl é aplicado nas plantas não ocorre essa conversão, ocorrendo assim o acúmulo de GA₂₀.

No Brasil, vários pesquisadores obtiveram respostas positivas da cultura do trigo à aplicação N associado ao uso de trinexapac-ethyl, considerando diferentes condições climáticas, obtendo aumentos de produtividade e/ou de qualidade de grãos (ZAGONEL et al., 2002a,b; TRINDADE et al., 2006; ZAGONEL e FERNANDES, 2007; TEIXEIRA FILHO et al., 2010; FIOREZE e RODRIGUES, 2014; STEFEN et al., 2014; MARCHESE et al., 2016; COSTA et al., 2018).

De acordo com Pires et al. (2005), o estágio correto para a aplicação do trinexapac-ethyl é na fase compreendida entre o primeiro e o segundo nós visíveis, ocasionando, assim, um encurtamento do colmo que, por sua vez, é uma característica almejada em sistemas de produção que fazem uso intensivo de adubação nitrogenada ou quando a cultivar tem como característica plantas de porte alto ou susceptíveis ao acamamento.

Ao se fazer a pulverização do trinexapac-ethyl sobre as plantas de trigo, deve-se ter cuidado especial com a época de aplicação. Se a aplicação ocorrer em estágio anterior ao recomendado serão observados poucos efeitos sobre a altura das plantas (ZAGONEL e FERNANDES, 2007). Por outro lado, aplicações tardias reduzirão exageradamente o tamanho das plantas, podendo ainda retardar o espigamento, devido ao seu efeito ocorrer nos entrenós superiores (RODRIGUES et al., 2003). Penckowski et al. (2009) realizaram a aplicação do produto após o terceiro nó visível e observaram encurtamento acentuado do pedúnculo, o que acarretou retenção da

espiga dentro da folha bandeira, que posteriormente causou problemas na antese e, finalmente, sobre a produtividade de grãos.

Em estudos com sistemas agrícolas de alta produtividade de trigo e com uso de reguladores de crescimento, Lozano e Leaden (2001) observaram distintos efeitos quando os produtos foram aplicados em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura, de modo que as plantas apresentaram diferentes taxas de encurtamento dos entrenós e de redução da estatura; relatando ainda uma pequena redução da área foliar, que não afetou a atividade fotossintética. Por sua vez, Zagonel et al. (2002b), na tentativa de avaliarem a interação entre densidade de plantas, uso de N e de redutores de crescimento, observaram que o redutor diminuiu de forma significativa a altura das plantas de trigo, fato este causado pela diminuição do comprimento dos entrenós da cultura, sem causar efeitos nas variáveis diâmetro do caule e massa seca das plantas, além de promover aumentos do número de espigas/m² e do rendimento de grãos.

A decisão de aplicação do redutor de crescimento deve considerar a propensão ao acamamento de cada cultivar de trigo, associada às condições climáticas (intensidade de chuvas), às doses de adubação nitrogenada e às perspectivas de rendimento de grãos, de modo a reduzir os riscos e aumentar a rentabilidade da cultura (PAGLIOSA et al., 2013).

Além dos cuidados com a observação da época correta (estádio de desenvolvimento da cultura) para aplicação do redutor de crescimento, deve-se ficar atento às condições favoráveis de ambiente, ao estado nutricional das plantas e aos aspectos fitossanitários da cultura. Tomando as devidas precauções, o uso de redutores de crescimento de plantas na cultura do trigo mostra perspectivas de aumento de rendimento de grãos, em função de menores índices de acamamento, além da melhoria de qualidade dos grãos (RODRIGUES et al., 2003).

2.5. Qualidade fisiológica de sementes de trigo e fatores que a influenciam

A qualidade da semente depende do somatório de todos os atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários que afetam a sua capacidade de originar plantas de alta produtividade.

A qualidade fisiológica está essencialmente ligada à capacidade da semente em cumprir suas funções vitais, definido pela longevidade, germinação e vigor

(POPINIGIS, 1985). Neste contexto, a longevidade das sementes está relacionada à sua capacidade de manter sua viabilidade ao longo dos anos de armazenamento; a boa germinação é caracterizada pelo desenvolvimento de alto percentual de plântulas normais; e o alto vigor define o potencial da semente em realizar uma emergência acelerada, uniforme e com bom desenvolvimento das plântulas em diversos ambientes edafoclimáticos (BAALBAKI et al., 2009). Desta forma, a qualidade fisiológica da semente está associada com sua capacidade de proporcionar um estabelecimento apropriado das plântulas e da lavoura no campo (FRANÇA NETO et al., 2010).

As condições ambientais podem afetar a qualidade fisiológica das sementes em diversos momentos: durante o desenvolvimento das sementes no campo, na colheita, na secagem, no beneficiamento e no armazenamento (MARCOS FILHO, 2015a). Segundo Maia et al. (2007), dentre os fatores que afetam a manutenção da qualidade das sementes, destacam-se seu grau de umidade, as condições de armazenamento (principalmente temperatura e umidade relativa do ar), além do tipo de acondicionamento. Por serem altamente higroscópicas, as sementes cedem ou absorvem água do ar que as envolve. A umidade das sementes varia em função da umidade atmosférica; portanto, sua longevidade depende da própria umidade da semente e da umidade relativa do ar no armazém.

Segundo Popiginis (1985) e Kolchinski e Schuch (2003), a obtenção de uma semente de qualidade depende de muitos fatores combinados, como genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários, que irão garantir que a semente se torne viável. Os atributos genéticos das sementes são indiretamente modificados pelos programas de melhoramento de plantas que focam o potencial de produção e a resistência a estresses bióticos e abióticos (GERMANO, 2013).

Segundo Marcos Filho (2013), existem diversos fatores que influenciam o potencial fisiológico das sementes, tais como: genótipo, condições climáticas na época de desenvolvimento das sementes, ocorrência de microrganismos e insetos nocivos, danos mecânicos durante a colheita, operações de secagem e beneficiamento, tempo e condição do armazenamento, tratamento químico, manejo agrônomico e nutrição da 'planta-mãe', etc. A adubação nitrogenada influencia a qualidade fisiológica, pois o N está diretamente relacionado ao acúmulo de proteína na semente (TAIZ e ZEIGER, 2010). Neste contexto, Martini Junior et al. (2011) relata

que o genótipo influencia a eficiência de uso de N pela planta; portanto, a interação genótipo \times N é fundamental para definir a qualidade fisiológica da semente.

A qualidade fisiológica das sementes também pode ser influenciada por fatores que reduzem a atividade fotossintética e a quantidade de reserva de carboidratos acumulada na planta para posterior translocação e enchimento de grãos (ESPINDULA et al., 2009). Neste contexto, reguladores hormonais de crescimento, como o trinexapac-ethyl, poderiam alterar a qualidade fisiológica de sementes de trigo, pois atuam na via metabólica da síntese de giberelina, influenciando o crescimento da planta e sua área foliar, com provável ação sobre o acúmulo de carboidratos pela planta e sua translocação para sementes (HECKMAN et al., 2002; HAJIHASHEMI et al., 2007; RADEMACHER, 2000).

A qualidade fisiológica é determinada no período da formação da semente, estando correlacionada ao acúmulo de reservas em função da intensidade fotossintética da planta e do fluxo de fotoassimilados para os órgãos reprodutivos (MAIA et al., 2007). Ela está relacionada com a capacidade da semente em originar uma planta normal sob condições favoráveis de campo, sendo avaliada pelos testes de germinação e de vigor (LIMA et al., 2006).

Os testes de emergência e uniformidade de plântulas (quanto ao seu comprimento e matéria seca) são importantes para analisar o vigor das sementes. Portanto, as avaliações do comprimento e matéria seca de plântulas podem ser usados para detectar potenciais efeitos fitotóxicos de produtos químicos, como: fungicidas, inseticidas e dessecantes de plantas, que podem afetar o crescimento normal da raiz e do hipocótilo. Para realização destes testes não são necessários equipamentos específicos e sofisticados, pois eles são simples e relativamente fáceis de implementar, tornando-se excelentes opções para avaliar o vigor de sementes de espécies florestais, ornamentais, nativas e recalcitrantes (MARCOS FILHO, 2015b).

Estudos com valores extremos de temperatura durante a germinação fornecem informações de interesse biológico e ecológico, pois as espécies apresentam distintas faixas de temperatura para germinação. O teste de envelhecimento acelerado, utilizando-se alta temperatura e umidade relativa elevada é um teste de vigor semelhante ao que ocorre no envelhecimento natural, com velocidade mais elevada, baseado na simulação de fatores ambientais adversos, como temperatura e umidade relativa elevadas, que são as principais causas de deterioração das sementes (DELOUCHE, 1980). A eficiência deste teste é avaliada pela diferença de

sensibilidade apresentada pelas sementes ao envelhecimento. Sementes mais vigorosas retêm sua capacidade de produzir plântulas normais e apresentam germinação mais elevada após serem submetidas a tratamentos de envelhecimento acelerado, enquanto as de baixo vigor apresentam maior redução de sua viabilidade (VIEIRA e CARVALHO, 1994). É um teste amplamente utilizado nos Estados Unidos (HAMPTON, 1992) e no Brasil (KRZYZANOWSKI et al., 1991). Tornou-se um dos testes mais utilizados para avaliação da qualidade fisiológica de sementes, principalmente para soja (VIEIRA et al., 2001). Pela sua facilidade de aplicação e interpretação, vem sendo amplamente utilizado para estudar o processo de deterioração e o vigor de diversas espécies (SANTOS et al., 2002; ÁVILA et al., 2005; TONIN et al., 2005).

Dentre as particularidades da qualidade das sementes, o vigor desempenha um papel significativo, pois o alto vigor proporciona germinação rápida e uniforme, assim os crescimentos da parte aérea e radicular são beneficiados, ocorrendo maior potencial de as plantas resistirem às condições ambientais adversas (BEWLEY et al., 2013). Além disso, o baixo vigor de sementes pode reduzir a porcentagem e uniformidade de emergência de plântulas, sendo um aspecto que pode comprometer o estande final de plantas e o ciclo da cultura, diminuindo a sua produtividade (TOLEDO et al., 2009; FINCH-SAVAGE e BASSEL, 2015; ABATI et al., 2017).

Nos Estados Unidos o teste de frio é considerado o método mais antigo e mais popular de avaliação do vigor de sementes. Para a indústria de sementes de milho híbrido este teste foi um dos primeiros a ser utilizado, sendo atualmente aplicado a outras espécies, como cevada (*Hordeum vulgare* L.), cenoura (*Daucus carota* L.), algodão (*Gossypium* L.), berinjela (*Solanum melongena* L.), alface (*Lactuca sativa* L.), cebola (*Allium cepa* L.), arroz (*Oryza sativa* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.), soja (*Glycine max* L.) dentre outros. No Brasil este teste é amplamente utilizado nos programas de controle e qualidade de sementes de milho (MARCOS FILHO, 2015b).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na safra de 2018 em dois ambientes edafoclimáticos em fazendas experimentais da Embrapa, sendo uma localizada em Londrina (PR) (23°11'37" S, 51°11'03" W; altitude de 628 m) e outra em Ponta Grossa (PR) (25°08'59" S, 50°04'39" W; altitude de 876 m). Em Londrina o relevo é suavemente ondulado e o solo da área experimental é um Latossolo Vermelho distroférico de textura argilosa; o clima regional, de acordo com a classificação de Köppen, é subtropical úmido (Cfa), com verão quente e chuvoso, com temperatura e precipitação médias anuais de 21,2 °C e 1.392 mm, respectivamente, geadas pouco frequentes e sem estação seca definida. Em Ponta Grossa o clima regional é subtropical úmido (Cfb) mesotérmico, com temperatura média anual em torno de 18,7 °C e precipitação média anual de 1.600 mm; o relevo é suavemente ondulado e o solo da área experimental é um Latossolo Vermelho distroférico de textura média. Foi realizada a caracterização física e química do solo nas camadas de 0–20 e 20–40 cm (Tabela 1) e o registro da precipitação, temperatura e umidade relativa do ar em estações meteorológicas localizadas próximo às áreas experimentais (ver item 4.1).

Tabela 1. Caracterização química e física dos solos (camadas de 0–20 e 20–40 cm) dos experimentos de Londrina e Ponta Grossa.

Camada	pH ⁽¹⁾	CO ⁽²⁾	P ⁽³⁾	K ⁽³⁾	Al ⁽⁴⁾	Ca ⁽⁴⁾	Mg ⁽⁴⁾	H+Al ⁽⁵⁾	CTC ⁽⁶⁾	V ⁽⁷⁾	Dsolo ⁽⁸⁾	Argila	Silte	Areia
cm		g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	%	g cm ⁻³	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹
Londrina														
0–20	5,2	15,3	36,2	227	0,00	3,65	2,22	4,82	11,27	57,2	1,32	732	161	107
20–40	5,2	15,0	31,3	257	0,01	3,78	2,28	4,98	11,70	57,3	1,31	762	146	92
Ponta Grossa														
0–20	4,6	23,9	11,2	121	0,16	2,84	0,99	5,72	9,85	42,0	1,29	526	77	397
20–40	4,8	22,8	4,7	133	0,06	3,03	1,12	5,59	10,09	45,0	1,10	570	65	365

⁽¹⁾Potencial hidrogeniônico (CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹). ⁽²⁾Carbono orgânico do solo. ⁽³⁾Fósforo disponível e potássio trocável (Mehlich-1). ⁽⁴⁾Alumínio, cálcio e magnésio trocáveis (KCl 1 mol L⁻¹). ⁽⁵⁾Acidez potencial (acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹, pH 7,0). ⁽⁶⁾Capacidade de troca catiônica. ⁽⁷⁾Saturação por bases. ⁽⁸⁾Densidade aparente do solo.

Os ensaios foram conduzidos em delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições, em arranjo fatorial $2 \times 3 \times 3$, sendo dois genótipos de trigo (linhagens WT 15008 e WT 15025), três doses de N (0, 40 e 120 kg ha⁻¹) e três doses do redutor hormonal de crescimento trinexapac-ethyl (0, 200 e 400 mL ha⁻¹ do produto comercial Moddus®, que possui 250 g L⁻¹ de ingrediente ativo). As doses do redutor de crescimento foram baseadas em experimentos prévios, que indicaram a eficiência do produto com uso de menores doses para algumas cultivares de trigo, sendo que a recomendação do fabricante para a cultura do trigo é de 400–500 mL ha⁻¹. O genótipo WT 15008 possui um ciclo (emergência até maturação) médio de 120 dias e altura média de 74 cm, enquanto o WT 15025 apresenta ciclo médio de 128 dias e altura média de 76 cm. A aplicação de N foi realizada em cobertura no início do perfilhamento da lavoura (estádios GS21–22 da escala de Zadoks et al., 1974) em toda a área da parcela experimental, utilizando nitrato de amônio (NH₄NO₃) como fonte de N. O redutor de crescimento foi aplicado no início do alongamento das plantas (estádios GS31–32), quando o primeiro nó do colmo principal estava visível e o segundo nó perceptível, utilizando pulverizador costal pressurizado com CO₂ comprimido, munido de barra com quatro pontas com bicos de jato plano tipo “leque” XR 110-020, com volume de calda de 200 L ha⁻¹.

Cada parcela experimental foi composta por nove linhas de semeadura com 6 m de comprimento, espaçadas 0,178 m entre si, totalizando 9,6 m². O trigo foi semeado sobre palhada de soja, em sistema plantio direto, em sulcos a aproximadamente 4 cm de profundidade, com densidade de semeadura de 350 sementes viáveis m⁻². A adubação de base, simultaneamente à semeadura, foi composta por 200 kg ha⁻¹ do formulado 10-15-15 (N-P₂O₅-K₂O), calculada de acordo os resultados de análise de solo e produtividade esperada. O manejo fitossanitário e demais tratamentos culturais foram baseados nas indicações da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale (CBPTT, 2017).

Para determinar o rendimento de grãos, foi realizada a colheita das parcelas experimentais (sete linhas centrais com 6 m de comprimento) com colhedora automotriz desenvolvida para experimentação agrônômica, registrando-se a massa de grãos após ajuste da umidade para 13%. Também foram avaliados o peso hectolitro, a altura (média de cinco plantas por parcela) e a população final de plantas férteis (espigas m⁻²) [determinada através da contagem do número total de espigas

em duas linhas de plantas com 0,5 m de extensão] no estágio de maturidade fisiológica, e o acamamento de plantas (método visual; EMBRAPA, 2009).

A avaliação da qualidade fisiológica das sementes de trigo foi realizada no Núcleo de Tecnologia de Sementes e Grãos da Embrapa Soja, empregando-se os seguintes testes:

Germinação – as análises foram realizadas com quatro repetições de 50 sementes, em papel toalha Germitest® umedecido com água destilada, na proporção de 2,5 vezes a massa seca do mesmo. Os rolos de papel foram mantidos em germinador com temperatura controlada de 20 °C. Foram realizadas duas contagens de germinação: aos quatro dias (primeira contagem - PC) e aos oito dias (segunda contagem) após a instalação do teste, computando-se a porcentagem de plântulas normais. A análise e a classificação das plântulas foram baseadas nas Regras para Análise de Sementes – RAS (BRASIL, 2009).

Comprimento de plântulas – avaliado a partir da semeadura de quatro repetições de 20 sementes, no terço superior da folha de papel Germitest®, umedecido com água destilada, na proporção de 2,5 vezes a massa do papel seco. Os rolos de papel contendo as sementes permaneceram por cinco dias em germinador, no escuro, e à temperatura de 20 °C, quando houve a avaliação do comprimento das plântulas normais, com auxílio de uma régua milimetrada. O comprimento médio das plântulas foi obtido somando-se as medidas de cada repetição e dividindo-o pelo número de plântulas normais (NAKAGAWA, 1999).

Massa seca de plântulas – foi obtida por meio da avaliação das plântulas normais provenientes do teste de comprimento de plântulas. As repetições de cada lote foram acondicionadas em sacos de papel e levadas à estufa com circulação forçada de ar, mantida à temperatura de 80 °C por um período de 24 horas (NAKAGAWA, 1999). Após este período, foi avaliada a massa seca de plântulas em balança com precisão de 0,001 g, e os resultados médios expressos em miligramas por plântula.

Envelhecimento acelerado – esta análise foi realizada com quatro repetições, em caixas tipo gerbox, com compartimento individual, contendo 40 mL de água em seu interior, e uma tela de alumínio, sobre a qual foram distribuídas uniformemente 240 sementes por gerbox. As caixas foram mantidas em câmara de envelhecimento acelerado a 41 °C durante 48 horas (MAIA et al., 2007). Decorrido esse período, foi

instalado o teste de germinação sob temperatura de 20 °C, e a contagem do número de plântulas normais foi realizada quatro dias após a semeadura.

Teste de frio sem solo – esta avaliação foi realizada com quatro repetições de 50 sementes, uniformemente distribuídas na superfície da folha de papel Germitest® que foi posteriormente enrolado de forma semelhante ao teste de germinação. Os rolos foram acondicionados em caixas e colocados em câmara refrigerada a 10 °C, onde permaneceram por sete dias. Após esse período as caixas foram transferidas para um germinador com temperatura regulada para 20 °C, onde ficaram por quatro dias, procedendo-se em seguida à avaliação conforme metodologia adaptada de BARROS et al. (1999).

Os resultados experimentais foram analisados utilizando o software estatístico GENES® (CRUZ, 2013). Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de variáveis de Lilliefors e ao teste de homogeneidade de variâncias de Bartlett. Coeficientes de assimetria e curtose também foram avaliados. Atendidas todas as pressuposições requeridas para uma válida análise de variância (ANOVA), esta foi realizada ao nível de significância de 5% ($P < 0,05$). As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

4. RESULTADOS

4.1. Condições meteorológicas nos estádios fenológicos da cultura do trigo

O experimento foi conduzido em dois ambientes climáticos distintos (Cfa em Londrina e Cfb em Ponta Grossa), submetidos a diferentes condições meteorológicas na safra de 2018 (Figura 1).

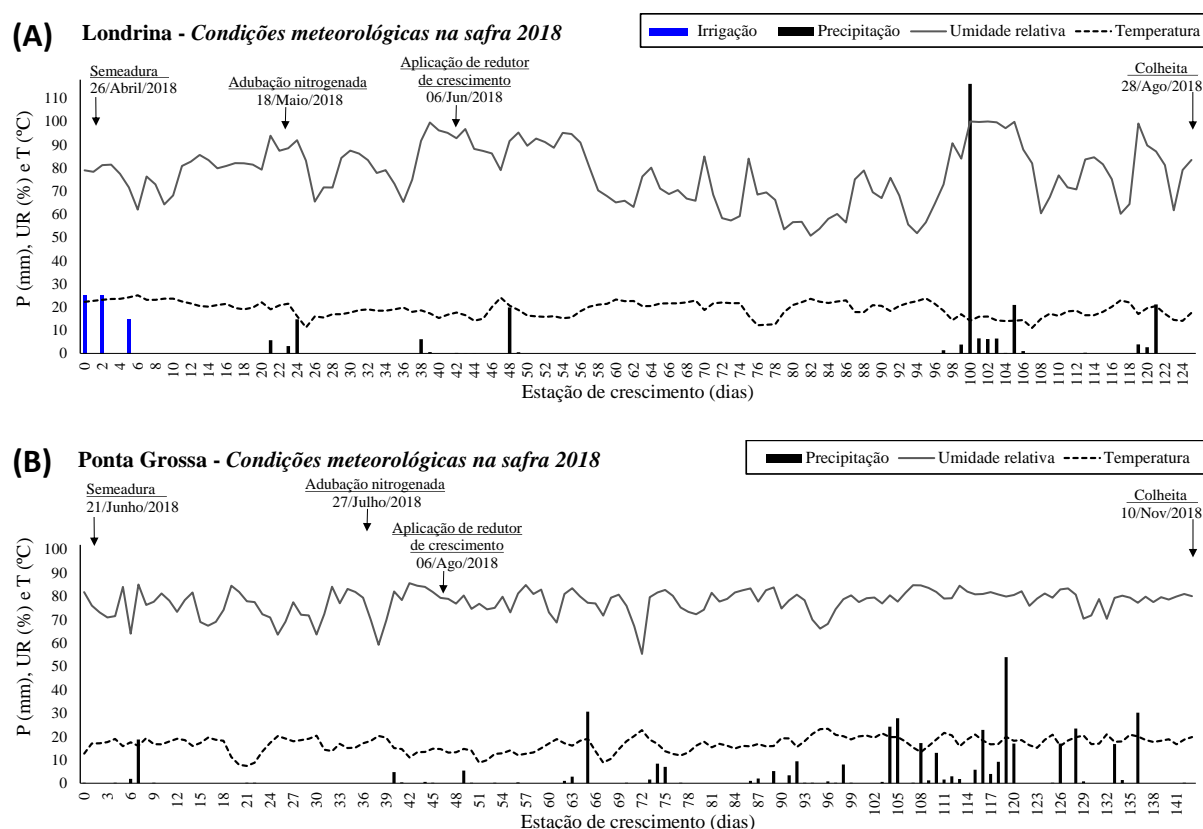


Figura 1. Precipitação (P), umidade relativa do ar (UR) e temperatura (T) média na estação de crescimento do trigo em 2018 em Londrina (26/04 a 28/08/2018 = 125 dias; gráfico A) e Ponta Grossa (21/06 a 10/11/2018 = 143 dias; gráfico B). Nota: em Londrina foram aplicadas lâminas de irrigação em 25/04 (25 mm), 27/04 (25 mm) e 30/04 (15 mm) para permitir o estabelecimento inicial da cultura.

Em Londrina a temperatura média foi de 19 °C e a umidade relativa (UR) do ar foi em média 78% (Figura 1A). A lavoura de trigo recebeu 307 mm de água, sendo 65 mm por meio de irrigação (nos seis primeiros dias do ciclo, para permitir o estabelecimento da cultura) e 242 mm de chuva durante o restante da safra, dos quais

116 mm no 100º dia da estação de crescimento. Houve um período de estiagem de 50 dias (49º ao 98º dia), compreendido entre o final do alongamento do colmo (GS 39 da escala de Zadoks) e o estágio fenológico de grão leitoso (GS 77). Neste período a UR decresceu substancialmente, atingido valores próximos de 50%, refletindo o déficit hídrico ambiental (ar e solo). Além disso, não houve geada durante toda a estação de crescimento, cuja temperatura mínima (média diária) foi de 4,9 °C (dados não apresentados).

Por sua vez, a safra de Ponta Grossa teve temperatura média de 16,8 °C e média de UR de 77% (Figura 1B). Durante a safra houve uma precipitação total de 410 mm, que poderia ser considerado um volume adequado para a cultura do trigo. No entanto, houve um período de estiagem na fase inicial de desenvolvimento da cultura, principalmente entre o 8º dia (pós-emergência das plântulas, GS 11) e o 39º dia (início do alongamento, GS 30). Por outro lado, houve 372 mm bem distribuídos na segunda metade do ciclo, desde o estágio fenológico de emborrachamento (GS 41 ao 65º dia) até a maturação fisiológica do grão (GS91 ao 136º dia). A UR apresentou menor oscilação ao longo da safra, mantendo-se entre 70 e 85% na maior parte do tempo. Finalmente, houve duas geadas amenas durante a estação de crescimento, uma no 21º dia (GS15, antes do início do perfilhamento) e outra no 52º dia (GS33 do estágio de alongamento), cujas temperaturas mínimas diárias registradas no abrigo meteorológico foram de 0,9 e 1,0 °C, respectivamente (dados não apresentados). No entanto, estas geadas não afetaram a cultura do trigo, pois ocorreram em estádios fenológicos pouco susceptíveis a danos pelo frio.

Estas diferenças ambientais influenciaram a duração do ciclo (125 dias em Londrina e 143 dias em Ponta Grossa), o rendimento de grãos e as respostas do trigo à aplicação dos tratamentos com N e trinexapac-ethyl, como será discutido posteriormente.

4.2. Características agronômicas e produtividade de trigo

Dentre os fatores estudados, o 'genótipo' apresentou a maior influência sobre as características agronômicas avaliadas nos dois ambientes, seguido pela 'dose de redutor de crescimento' (trinexapac-ethyl) e pela 'dose de N', havendo poucos casos de interação entre estes fatores (Tabela 2).

Tabela 2. Significância (*P-value*) da análise de variância (ANOVA) dos efeitos principais (genótipo, dose de nitrogênio e dose de redutor de crescimento) e de suas interações, para características⁽¹⁾ agrônômicas de plantas de trigo cultivado nas regiões edafoclimáticas de Londrina e Ponta Grossa na safra de 2018.

Fonte de variação	GL ⁽²⁾	Altura	Acam	DPF	PMG	PH	RG
Londrina							
Bloco	3	0,022	ns ⁽⁴⁾	ns	<0,001	ns	ns
Genótipo (G)	1	0,018	<0,001	ns	<0,001	ns	ns
Nitrogênio (N)	2	ns	<0,001	ns	ns	ns	ns
Redutor (R)	2	0,050	ns	ns	ns	ns	ns
G x N	2	ns	<0,001	ns	ns	ns	ns
G x R	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N x R	4	ns	ns	ns	ns	ns	ns
G x N x R	4	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%) ⁽³⁾		5,8	148	15,1	4,3	1,83	12,7
Ponta Grossa							
Bloco	3	ns	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Genótipo (G)	1	<0,001	<0,001	0,050	ns	<0,001	<0,001
Nitrogênio (N)	2	ns	0,038	ns	ns	ns	ns
Redutor (R)	2	<0,001	0,025	ns	ns	ns	0,047
G x N	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns
G x R	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N x R	4	ns	ns	ns	ns	ns	0,023
G x N x R	4	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%) ⁽³⁾		4,7	62,6	14,7	7,8	3,4	13,8

⁽¹⁾Altura de planta (Altura), acamamento de plantas (Acam), densidade de plantas férteis (DPF), peso de mil grãos (PMG), peso hectolítrico (PH) e rendimento de grãos (RG). ⁽²⁾GL = graus de liberdade; sendo o GL do Resíduo = 51. ⁽³⁾CV = coeficiente de variação. ⁽⁴⁾ns = não significativo pelo teste F ($P > 0,05$).

O trinexapac-ethyl reduziu a altura de plantas em 3,4% em Londrina e em até 12,5% em Ponta Grossa (Tabela 3). Porém, o efeito deste redutor de crescimento sobre o acamamento de plantas foi observado somente em Ponta Grossa, atingindo uma redução de 4,8 pontos percentuais (com a dose de 400 mL ha⁻¹ de Moddus®). Finalmente, o trinexapac-ethyl não influenciou a densidade de espigas férteis, o peso

de mil grãos e o peso hectolítrico nos dois ambientes edafoclimáticos, além do rendimento de grãos em Londrina.

Tabela 3. Comparações múltiplas entre as médias dos tratamentos de cada fator principal (genótipo, dose de nitrogênio e dose de redutor de crescimento), para características⁽¹⁾ agrônômicas de plantas de trigo cultivado nas regiões edafoclimáticas de Londrina e Ponta Grossa.

Fator	Tratamento	Altura (cm)	Acam (%)	DPF (espigas m ⁻²)	PMG (g)	PH (kg hL ⁻¹)	RG (kg ha ⁻¹)
Londrina							
Genótipo	WT 15008	67,1 b	1,0	346	30,8 a	79,4	2647
	WT 15025	69,4 a	15,6	340	28,3 b	79,4	2769
Nitrogênio (kg ha ⁻¹)	0	67,9	1,8	351	29,6	79,4	2776
	40	68,6	5,7	343	29,6	79,8	2767
	120	68,1	17,3	336	29,5	79,0	2581
Redutor (mL ha ⁻¹)	0	69,8 a	11,8	343	29,7	79,1	2751
	200	67,6 b	7,6	348	29,5	79,5	2740
	400	67,2 b	5,4	339	29,5	79,7	2633
Ponta Grossa							
Genótipo	WT 15008	68,8 b	4,9 b	513 a	30,0	69,3 b	2005 b
	WT 15025	75,2 a	14,6 a	479 b	30,5	72,8 a	2381 a
Nitrogênio (kg ha ⁻¹)	0	72,3	7,9 b	482	30,4	71,2	2170
	40	71,5	9,0 ab	491	30,4	71,0	2118
	120	72,1	12,3 a	514	30,0	70,9	2291
Redutor (mL ha ⁻¹)	0	76,3 a	11,9 a	507	30,8	71,5	2073
	200	72,8 b	10,2 ab	475	30,1	71,2	2294
	400	66,8 c	7,1 b	505	29,9	70,4	2213

⁽¹⁾ Altura de planta (Altura), acamamento de plantas (Acam), densidade de plantas férteis (DPF), peso de mil grãos (PMG), peso hectolítrico (PH) e rendimento de grãos (RG). Individualmente para cada fator, médias na coluna seguidas por diferentes letras minúsculas diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$).

Em Ponta grossa, as doses do redutor de crescimento interagiram com as doses de N influenciando o rendimento de grãos (Tabela 2). Na ausência do uso de trinexapac-ethyl houve aumento médio do rendimento de grãos de 28% com aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N, em relação à testemunha com 0 kg ha⁻¹ de N (Figura 2B). No entanto, quando foram aplicadas as doses de 200 e 400 mL ha⁻¹ de Moddus® a lavoura de trigo não respondeu à adubação nitrogenada. Um fato interessante foi o aumento

médio de 25,6% de rendimento de grãos com a aplicação de trinexapac-ethyl em relação ao tratamento controle (0 mL ha⁻¹ de Moddus®), considerando isoladamente o tratamento sem adubação nitrogenada (0 kg ha⁻¹ de N).

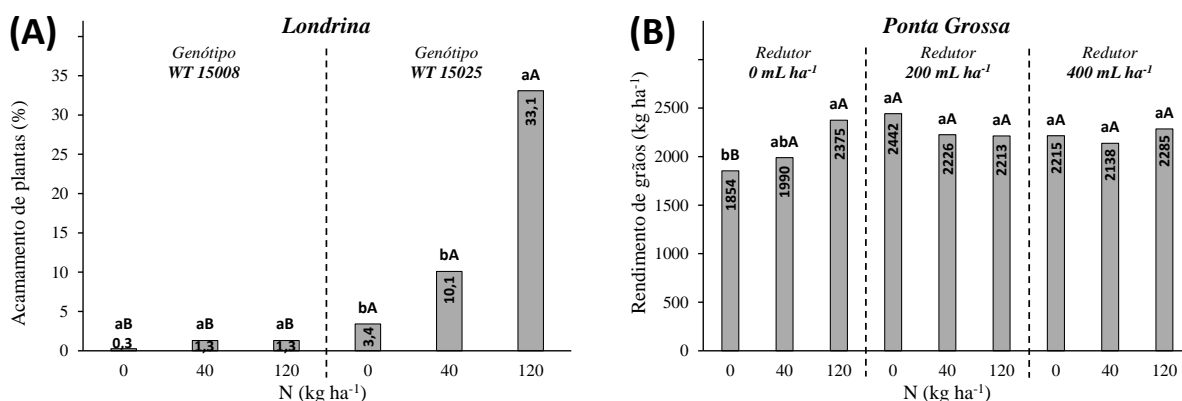


Figura 2. Desdobramentos das interações significativas: 'genótipo x nitrogênio' para acamamento de plantas (gráfico A) e 'nitrogênio x redutor de crescimento' para rendimento de grãos (gráfico B) nas regiões edafoclimáticas de Londrina e Ponta Grossa. Individualmente para cada genótipo (gráfico A) ou dose de redutor do crescimento (gráfico B), colunas comparando doses de nitrogênio (N) seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$). Individualmente para cada dose de N (gráficos A e B), colunas comparando genótipos ou doses de redutor de crescimento seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$).

As doses de N também influenciaram o acamamento de plantas nos dois ambientes (Tabela 2). Em Ponta Grossa a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N aumentou em 4,4 pontos percentuais o acamamento da lavoura (Tabela 3). Por sua vez, em Londrina houve resposta diferencial dos genótipos de trigo à fertilização nitrogenada, sendo que o acamamento do WT 15008 (com valor médio de apenas 1%) não foi influenciado pela dose de N (Figura 2). Por outro lado, para o WT 15025 a adição de 120 kg ha⁻¹ de N aumentou a taxa de acamamento em 26,4 pontos percentuais em comparação à média dos tratamentos que receberam 0 ou 40 kg ha⁻¹ de N. Além disso, o WT 15025 obteve em média 14,5 pontos percentuais a mais de acamamento do que o outro genótipo.

O efeito isolado do fator 'genótipo' foi observado em todas as características agrônômicas estudadas, em pelo menos um ambiente (Tabela 2). Em Ponta Grossa o WT 15025 apresentou maiores altura (9,3%), acamamento de plantas (9,7 pontos percentuais), peso hectolítrico (5,1%) e rendimento de grãos (18,8%), além de menor densidade de espigas férteis (-6,6%) (Tabela 3). Por sua vez, em Londrina o WT 15008 obteve maior peso de mil grãos (8,8%) e menor altura (-3,3%).

4.3. Qualidade fisiológica de sementes de trigo

As sementes colhidas no experimento foram avaliadas em laboratório por meio de testes de qualidade fisiológica. O fator 'genótipo' influenciou as características fisiológicas, com exceção do vigor de sementes pelo teste de frio (Tabela 4). As doses de N aplicadas na lavoura não afetaram diretamente a qualidade fisiológica das sementes. Porém, no ambiente de Londrina elas interagiram com os fatores 'genótipo' e 'reduzidor de crescimento', influenciando o vigor (pelo teste de envelhecimento acelerado) e a germinação de sementes, respectivamente. Por sua vez, a pulverização de trinexapac-ethyl na lavoura de trigo influenciou a matéria seca de plântula e a germinação das sementes provenientes de Londrina e de Ponta Grossa, respectivamente. Além disso, o trinexapac-ethyl interagiu com o fator 'genótipo' influenciando o comprimento de plântula das sementes oriundas de Ponta Grossa.

Algumas características de qualidade fisiológica de sementes apresentaram interação genótipo x ambiente. O genótipo WT 15008 produziu sementes de melhor qualidade em Londrina, a se julgar pelos maiores valores de comprimento (5,5%) e de matéria seca de plântula (5,1%) (Tabela 5). Por outro, as sementes do WT 15025 provenientes de Ponta Grossa proporcionaram maior matéria seca de plântula (7,9%), germinação (11,5%) e vigor pelo teste de envelhecimento acelerado (19,6%).

Tabela 4. Significância (*P-value*) da análise de variância (ANOVA) dos efeitos principais (genótipo, dose de nitrogênio e dose de redutor de crescimento) e de suas interações, para testes⁽¹⁾ de qualidade fisiológica das sementes de trigo [previamente cultivado nas regiões edafoclimáticas de Londrina e Ponta Grossa na safra de 2018] em condições laboratoriais.

Fonte de variação	GL ⁽²⁾	CP	MSP	G	EA	TF
Londrina						
Bloco	3	0,015	<0,001	0,006	0,002	ns
Genótipo (G)	1	0,001	0,014	<0,001	0,002	ns
Nitrogênio (N)	2	ns ⁽⁴⁾	ns	ns	ns	ns
Redutor (R)	2	ns	0,011	ns	ns	ns
G x N	2	ns	ns	ns	0,030	ns
G x R	2	ns	ns	0,030	ns	ns
N x R	4	ns	ns	0,029	ns	ns
G x N x R	4	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%) ⁽³⁾		6,4	8,8	3,7	7,3	3,1
Ponta Grossa						
Bloco	3	<0,001	ns	<0,001	ns	ns
Genótipo (G)	1	0,001	0,029	<0,001	<0,001	ns
Nitrogênio (N)	2	ns	ns	ns	ns	ns
Redutor (R)	2	ns	ns	0,032	ns	ns
G x N	2	ns	ns	ns	ns	ns
G x R	2	0,016	ns	ns	ns	ns
N x R	4	ns	ns	ns	ns	ns
G x N x R	4	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%) ⁽³⁾		6,6	14,4	5,6	9,7	5,8

⁽¹⁾Comprimento de plântula (CP), matéria seca de plântula (MSP), germinação (G), envelhecimento acelerado (EA) e teste de frio (TF). ⁽²⁾GL = graus de liberdade; sendo o GL do Resíduo = 51. ⁽³⁾CV = coeficiente de variação. ⁽⁴⁾ns = não significativo pelo teste F ($P > 0,05$).

Tabela 5. Comparações múltiplas entre as médias dos tratamentos de cada fator principal (genótipo, dose de nitrogênio e dose de redutor de crescimento), para testes⁽¹⁾ de qualidade fisiológica das sementes de trigo [previamente cultivado nas regiões edafoclimáticas de Londrina e Ponta Grossa na safra de 2018] em condições laboratoriais.

Fator	Tratamento	CP (cm)	MSP (g)	G (%)	EA (%)	TF (%)
Londrina						
Genótipo	WT 15008	23,2 a	8,2 a	89,5	76,2	90,4
	WT 15025	22,0 b	7,8 b	84,4	71,9	90,2
Nitrogênio (kg ha ⁻¹)	0	22,3	8,1	86,7	75,2	90,2
	40	22,7	8,0	87,5	74,5	90,7
	120	22,7	7,8	86,7	72,5	89,9
Redutor (mL ha ⁻¹)	0	22,8	8,3 a	87,1	74,3	90,1
	200	22,8	8,0 ab	86,4	74,0	90,5
	400	22,1	7,7 b	87,4	73,9	90,3
Ponta Grossa						
Genótipo	WT 15008	21,4	7,6 b	72,0 b	69,9 b	83,1
	WT 15025	22,6	8,2 a	80,3 a	83,6 a	81,9
Nitrogênio (kg ha ⁻¹)	0	22,0	8,2	76,5	77,8	83,6
	40	22,1	7,8	76,8	77,4	81,9
	120	22,0	7,8	75,1	75,0	82,1
Redutor (mL ha ⁻¹)	0	22,6	7,9	75,1 b	76,9	81,9
	200	21,8	8,2	78,0 a	76,6	83,9
	400	21,6	7,6	75,2 b	76,7	81,8

⁽¹⁾Comprimento de plântula (CP), matéria seca de plântula (MSP), germinação (G), envelhecimento acelerado (EA) e teste de frio (TF). Individualmente para cada fator, médias na coluna seguidas por diferentes letras minúsculas diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$).

A aplicação de 400 mL ha⁻¹ de Moddus® na lavoura de trigo ocasionou uma redução de 7,2% da matéria seca de plântula nas sementes provenientes de Londrina (Tabela 5). Por outro lado, houve aumento de 2,9 pontos percentuais na germinação das sementes colhidas em Ponta Grossa em lavouras que receberam 200 mL ha⁻¹ deste redutor de crescimento de plantas.

As sementes do genótipo WT 15008—provenientes da lavoura de Ponta Grossa—apresentaram redução de comprimento de plântula de 9,4% com a aplicação da maior dose de trinexapac-ethyl (i.e., 400 mL ha⁻¹ de Moddus®) (Figura 3A). Porém,

este efeito do trinexapac-ethyl não foi observado nas plântulas das sementes do WT 15025. Como consequência desta combinação de resultados, somente no tratamento com 400 mL ha⁻¹ de Moddus® o comprimento de plântula da WT 15025 foi superior (12,8%) em relação ao 15008.

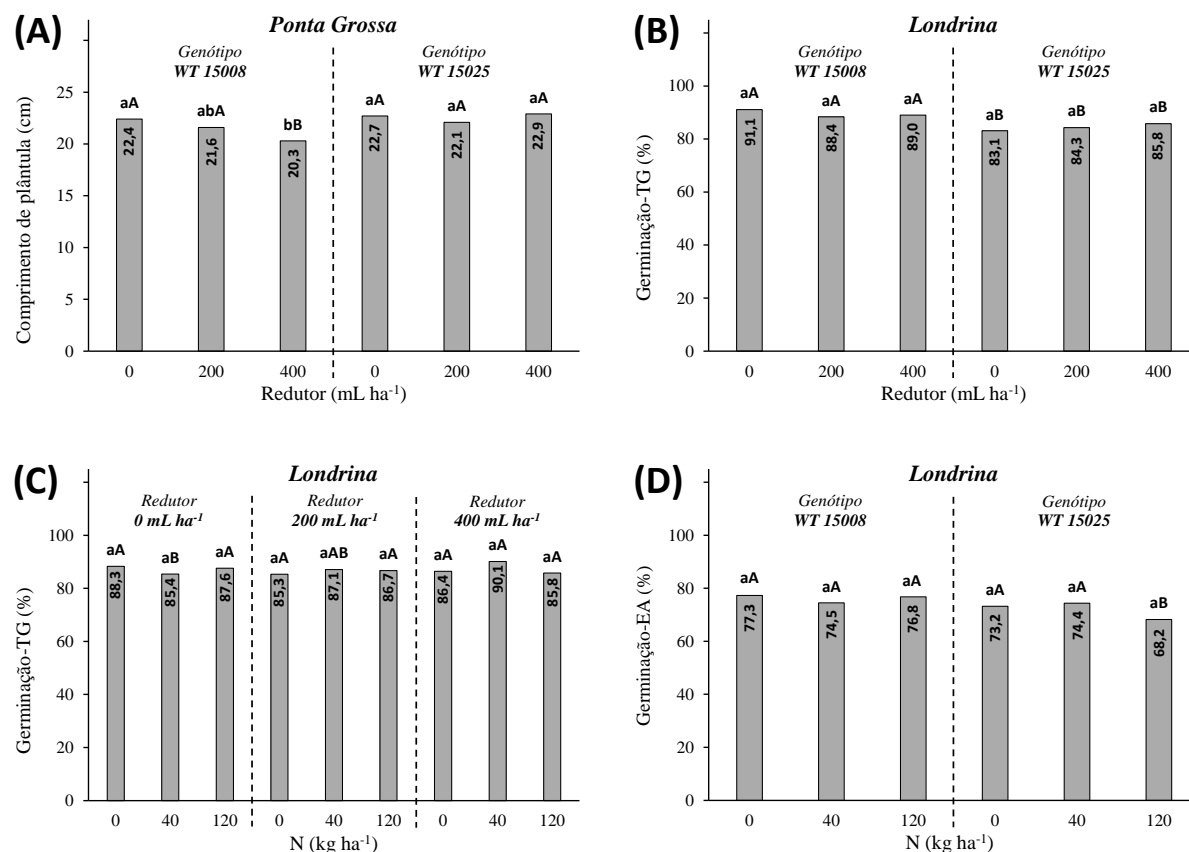


Figura 3. Desdobramentos das interações significativas: 'genótipo x redutor de crescimento' para comprimento de plântula (gráfico A) e para o teste de germinação (TG) de sementes (gráfico B); 'nitrogênio x redutor de crescimento' para o teste de germinação (TG) de sementes (gráfico C); e 'genótipo x nitrogênio' para germinação no teste de envelhecimento acelerado (EA) de sementes (gráfico D), nas regiões edafoclimáticas de Londrina e Ponta Grossa. Individualmente para cada genótipo (gráficos A, B e D) ou dose de redutor do crescimento (gráfico C), colunas comparando doses de redutor de crescimento ou doses de nitrogênio (N) seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$). Individualmente para cada dose de redutor de crescimento (gráficos A e B) ou dose de N (gráficos C e D), colunas comparando genótipos ou doses de redutor de crescimento seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$).

A germinação das sementes colhidas em Londrina não foi influenciada pela aplicação de trinexapac-ethyl na cultura do trigo, considerando individualmente cada genótipo (Figura 3B). Neste caso, houve apenas diferença entre os dois materiais genéticos, sempre com melhor germinação (aumento médio de 5,1 pontos percentuais) das sementes do WT 15008, independente da dose de redutor de crescimento utilizada na lavoura de trigo. No entanto, desdobrando os efeitos do trinexapac-ethyl dentro de cada dose de N (Figura 3C), verifica-se aumento de 4,7 pontos percentuais na germinação de sementes com a aplicação de 400 mL ha⁻¹ de Moddus®, em relação ao tratamento testemunha (0 mL ha⁻¹ de Moddus®), porém, somente quando combinada com a dose de 40 kg ha⁻¹ de N. Adicionalmente, as doses de N aplicadas na lavoura de trigo não influenciaram a germinação das sementes colhidas em Londrina, considerando uma análise individual dentro de cada dose de Moddus® aplicada na lavoura (Figura 3C).

Comparando os genótipos de trigo, observa-se que o vigor de sementes—avaliado pelo teste de envelhecimento acelerado—também não foi influenciado pelas doses de N aplicadas na lavoura de trigo cultivada em Londrina (Figura 3D). Neste caso, desdobrando os efeitos de 'genótipo' dentro de cada dose de N, verifica-se uma redução de 8,6 pontos percentuais na germinação das sementes do WT 15025 em relação ao WT 15008, porém, somente quando associada com a adubação de 120 kg ha⁻¹ de N.

5. DISCUSSÃO

Este estudo demonstrou os efeitos na cultura do trigo da aplicação de trinexapac-ethyl e N sobre características agronômicas de lavouras e sobre a qualidade fisiológica de sementes de trigo colhidas ao término do ensaio, considerando dois materiais genéticos e a influência de duas condições ambientais. Os resultados revelaram uma diversidade de interações entre os fatores estudados, que influenciaram diretamente as eficiências de ação do trinexapac-ethyl e da adubação nitrogenada, como observado por outros pesquisadores (PEAKE et al., 2020). Deste modo, a discussão destes resultados contempla estas interações, associando-as às condições meteorológicas vigentes nos dois ambientes durante a safra de 2018.

5.1. Características agronômicas e produtividade de trigo

5.1.1. Efeitos do trinexapac-ethyl aplicado na lavoura de trigo

A pulverização foliar com trinexapac-ethyl foi mais efetiva em Ponta Grossa do que em Londrina, quanto aos seus efeitos sobre a redução da altura e do acamamento de plantas. Isto pode ser atribuído às diferenças de condições meteorológicas vigentes durante a safra de 2018 nas duas localidades (Figura 1). Apesar de a aplicação deste redutor hormonal de crescimento ter sido realizada no estágio fenológico adequado, em Londrina não houve precipitação pluviométrica no período aproximado de dois meses após a aplicação do produto. Portanto, o crescimento das plantas foi naturalmente reduzido pelo déficit hídrico. Deste modo, a aplicação de trinexapac-ethyl não expressou seus efeitos em maior magnitude. Por outro lado, em Ponta Grossa houve significativa distribuição de chuvas no período posterior à pulverização do trinexapac-ethyl, principalmente no último quartil da estação de crescimento (quando as plantas estão mais susceptíveis ao acamamento, devido à massa dos grãos), permitindo a expressão dos efeitos deste redutor de crescimento.

A altura das plantas foi significativamente reduzida pela aplicação do redutor de crescimento. O trinexapac-ethyl absorvido pelas plantas atua seletivamente na redução da biossíntese do ácido giberélico (que é responsável pelo alongamento celular), reduzindo o ritmo de crescimento, a elongação dos entrenós no período

vegetativo e, por conseguinte, a altura das plantas (HECKMAN et al., 2002; TAIZ e ZEIGER, 2010; ARF et al., 2012).

Em Ponta Grossa, o aumento do rendimento de grãos nos tratamentos que receberam 200 ou 400 mL ha⁻¹ de Moddus®, na ausência de adubação nitrogenada, foi um resultado não esperado. Isto pode ser parcialmente atribuído aos efeitos do trinexapac-ethyl sobre a arquitetura das folhas, especialmente da angulação da folha bandeira, que fica mais ereta, facilitando a interceptação dos raios solares e, conseqüentemente, aumentando a fotossíntese e acúmulo de carboidratos necessários ao enchimento de grãos (PENCKOWSKI et al., 2010). Além disso, desdobrando as interações (apesar de não terem sido significativas na ANOVA) entre 'doses de N' e 'doses de redutor' verificamos que houve menor acamamento (-3,1 pontos percentuais) e maior densidade de plantas férteis (6,7%) nos tratamentos que recebem pulverização com trinexapac-ethyl em relação à testemunha (dados não apresentados). Isto também pode ter contribuído para o maior rendimento de grãos nos tratamentos que receberam redutor do crescimento, pois plantas acamadas geralmente produzem menos [devido ao estrangulamento do colmo e redução da translocação de fotoassimilados para o enchimento de grãos (PENCKOWSKI et al., 2009)] e o maior número de espigas m⁻² é um dos mais importantes componentes de rendimento de grãos do trigo.

Este efeito positivo do trinexapac-ethyl sobre o aumento do rendimento de grãos deve ser analisado com cuidado, e não deve ser extrapolado para outras situações de forma generalizada. Neste contexto, Espíndula et al. (2010c) obtiveram redução do rendimento de grãos de trigo com o uso do trinexapac-ethyl. Por sua vez, Guerreiro e Oliveira (2012) observaram que a aplicação de trinexapac-ethyl na cultura da aveia reduziu a altura das plantas e o rendimento de grãos. De fato, este hormônio redutor do crescimento ocasiona mudanças diversas no metabolismo fisiológico da planta, as quais são dependentes das condições ambientais, tais como disponibilidade de água e de nutrientes.

Finalmente, o trinexapac-ethyl foi uma substância segura para aplicação na cultura do trigo, considerando seus efeitos sobre a qualidade de grãos, pois não afetou o peso de mil grãos e nem o peso hectolítrico, que são bons indicadores de qualidade do trigo produzido.

5.1.2. Efeitos da adubação nitrogenada e sua interação com trinexapac-ethyl aplicados na lavoura de trigo

A adubação nitrogenada não promoveu ganhos significativos de rendimento de grãos nos dois ambientes edafoclimáticos (com exceção de Ponta Grossa nos tratamentos com ausência de aplicação de trinexapac-ethyl). Isto ocorreu devido à baixa disponibilidade hídrica nas fases iniciais de desenvolvimento da lavoura (Figura 1), que é o período crítico para a absorção e acúmulo de N na parte aérea da planta de trigo, que atinge o ápice na antese (WIETHÖLTER, 2011). Deste modo, a absorção de N foi comprometida nos dois ambientes, porém com maior intensidade em Londrina, cujo período de estiagem foi maior (desde o final do alongamento até o estágio de grão leitoso). Considerando que o N é o nutriente-chave da cultura do trigo para o enchimento de grãos (pois o N participa da constituição de proteínas), a eficiência da adubação nitrogenada em ambiente de sequeiro é dependente da intensidade e distribuição de chuvas durante o ciclo da cultura. De fato, nos dois ambientes era esperado maior resposta das plantas à adubação com N, uma vez que outros macronutrientes como P, K, Ca e Mg encontravam-se em teores adequados no solo (Tabela 1), não limitando a produção.

Em Ponta Grossa, a adubação nitrogenada aumentou o rendimento de grãos apenas nos tratamentos com ausência de aplicação de trinexapac-ethyl. De um lado, isto demonstra que havia deficiência de N no solo deste ambiente, sendo necessário a adição de fertilizante nitrogenado. Porém, por outro lado, a ausência de resposta da lavoura à adição de N nos tratamentos pulverizados com trinexapac-ethyl não era esperado, o que foi atribuído anteriormente (item 5.1.1) ao menor acamamento e à maior densidade de plantas férteis nestes tratamentos. Estes resultados indicam um efeito compensatório do trinexapac-ethyl em condições de menor disponibilidade hídrica, fenômeno que deve ser melhor estudado.

O ambiente de Ponta Grossa é mais frio, consequentemente a taxa de mineralização de N é mais lenta, favorecendo a resposta da cultura de trigo à adubação nitrogenada. Por outro lado, em Londrina espera-se menor resposta da cultura à adição de N, pois o clima mais quente favorece maior taxa de mineralização de N, tanto proveniente da matéria orgânica do solo como da decomposição da palhada da soja (leguminosa que precedeu o trigo em sucessão de culturas).

Em Londrina, o acamamento de plantas aumentou com a adição de N, porém, somente para o genótipo WT 15025. Isto indica que houve substancial absorção de N no último quartil do ciclo da lavoura, ou seja, após o 99º dia da estação de crescimento, quando houve boa intensidade de chuvas (Figura 1). Apesar de o N absorvido após a antese não contribuir significativamente para o aumento de rendimento de grãos, ele pode influenciar a taxa de acamamento das plantas (PENCKOWSKI et al., 2009). Outra informação relevante é a existência de tolerância genética ao acamamento de plantas, como aquela observada para o WT 15008. Este é um aspecto importante que tem sido considerado nos programas de melhoramento genético do trigo, pois a obtenção de cultivares tolerantes ao acamamento de plantas dispensa o uso de redutor de crescimento, mesmo quando são utilizadas maiores doses de N. Isto é importante para o agricultor, pois ele pode alcançar maior produtividade da lavoura (com aumento da adubação nitrogenada) com menor uso de insumos (trinexapac-ethyl).

Quando o agricultor opta pela semeadura de uma cultivar 'acamadora' (normalmente devido à sua alta produtividade ou tolerância a doenças), a pulverização preventiva de trinexapac-ethyl é fundamental, principalmente quando a cultivar é responsiva à adubação nitrogenada. Neste contexto, o uso de trinexapac-ethyl permite a aplicação de maiores doses de N, com menor probabilidade de ocorrência de acamamento da lavoura, que pode alcançar maior rendimento de grãos (ZAGONEL et al., 2002a; ZAGONEL e FERNANDES, 2007; PENCKOWSKI et al., 2009).

Rodrigues et al. (2003) analisaram os efeitos do redutor de crescimento dentro de cada dose de N aplicada na lavoura de trigo, e concluíram que o grau de prevenção do acamamento de plantas é dependente tanto das doses do trinexapac-ethyl como das doses de N aplicado em cobertura. Assim, as doses de N mais elevadas causaram maior acamamento da lavoura, enquanto as maiores doses de trinexapac-ethyl proporcionam as maiores reduções de acamamento.

Zagonel et al. (2002a) também demonstraram que os efeitos das doses de N e da aplicação do trinexapac-ethyl na lavoura de trigo aconteceram de forma isolada na maioria das vezes, sendo observadas interações significativas do trinexapac-ethyl com as doses de N somente para o comprimento do segundo entrenó. Por outro lado, analisando o trinexapac-ethyl isoladamente, eles verificaram que ocorreu redução do comprimento dos quatro entrenós da planta. Isto resultou em plantas de menor estatura, com menor massa seca e maior diâmetro do caule.

5.2. Qualidade fisiológica de sementes de trigo

5.2.1. Efeitos do trinexapac-ethyl aplicado na lavoura de trigo

O trinexapac-ethyl aplicado na lavoura de trigo prejudicou significativamente a qualidade fisiológica das sementes produzidas, porém, somente quando utilizada a maior dose do produto (i.e., 400 mL ha⁻¹ de Moddus®), resultando em redução de matéria seca e comprimento de plântulas nas sementes colhidas em Londrina e em Ponta Grossa (somente para o WT 15008), respectivamente. Porém, este redutor de crescimento não influenciou o vigor de sementes (avaliado pelos testes de envelhecimento acelerado e de frio).

Resultados semelhantes foram obtidos na cultura de aveia-branca por Kaspary et al. (2015), que verificaram menor qualidade fisiológica de sementes (com reduções da germinação e vigor de sementes, e de comprimento e matéria seca de plântulas) com o aumento das doses de trinexapac-ethyl aplicadas na lavoura. Esses autores atribuíram os efeitos negativos do trinexapac-ethyl ao menor enchimento de grãos e à menor quantidade de reservas armazenadas nas plantas pulverizadas com o produto. De acordo com Espindula et al. (2010b), a pulverização do trinexapac-ethyl pode reduzir a capacidade fotossintética das plantas, uma vez que elas apresentaram menores estatura e área foliar, o que pode comprometer o acúmulo de fotoassimilados na planta e, conseqüentemente, o enchimento de sementes.

Sementes com alta qualidade fisiológica são fundamentais para o rápido desenvolvimento e estabelecimento inicial do estande de plantas, o que reduz a competição com plantas daninhas, mantendo o potencial produtivo da cultura (GUSTAFSON et al., 2004). Desse modo, cuidados especiais devem ser tomados em campos comerciais de produção de sementes de trigo em relação à utilização de altas doses de trinexapac-ethyl, que podem comprometer a qualidade fisiológica das sementes produzidas.

5.2.2. Efeitos da adubação nitrogenada e sua interação com trinexapac-ethyl aplicados na lavoura de trigo

As doses de N aplicadas na lavoura de trigo não influenciaram a maioria das características de qualidade fisiológica [comprimento e matéria seca de plântulas; e

vigor de sementes (avaliado pelos testes de envelhecimento acelerado e de frio)] das sementes colhidas nos dois locais. Considerando que o N é um constituinte fundamental da composição proteica das sementes, era esperado um maior efeito da adubação nitrogenada sobre a qualidade fisiológica das sementes. Esta ausência de resposta às doses de N pode ser parcialmente atribuída às condições meteorológicas vigentes durante a safra de 2018 em Londrina e em Ponta Grossa (Figura 1), pois os grandes períodos de estiagem comprometeram a absorção de N pelas plantas até a fase de antese, sendo que o acúmulo de N na biomassa da planta neste estágio fenológico é crítico para a formação e desenvolvimento de sementes, como comentado no item 5.1.2.

Por outro lado, as 'doses de N' interagiram com o fator 'genótipo', influenciando a qualidade fisiológica das sementes. A maior dose de N (120 kg ha^{-1}) proporcionou ao genótipo WT 15025 um menor vigor (pelo teste de envelhecimento acelerado) de suas sementes colhidas em Londrina, quando comparado ao WT 15008 nas mesmas condições (Figura 3D). Isto é atribuído ao fato de esta alta dose de N ter ocasionado maior taxa de acamamento de plantas do WT 15025 (33,1%) quando comparado ao WT 15008 (1,3%) (Figura 2A). De fato, um dos problemas críticos do acamamento de plantas é sua influência negativa sobre a qualidade do trigo produzido, pois as espigas em contato com o solo são expostas a condições de maior umidade que favorecem a infecção de fungos patogênicos ou oportunistas que deterioram grãos e sementes (ZAGONEL e FERNANDES, 2007). Além disso, esta maior umidade favorece a germinação das sementes nas espigas, quando estas atingem a maturidade fisiológica antes de serem colhidas. Deste modo, doses elevadas de N devem ser evitadas em campos comerciais de produção de sementes, considerando aquelas cultivares com alto potencial de acamamento de plantas.

5.3. Manejo agrônomo do acamamento de plantas e direcionamentos para pesquisas futuras

Com base no conteúdo discutido anteriormente, podemos extrair algumas aplicações práticas dos resultados obtidos, com o propósito de subsidiar os agricultores no manejo agrônomo do acamamento de plantas em lavouras de trigo, e direcionar pesquisas futuras:

i) é necessário validar o uso do trinexapac-ethyl para cada cultivar de trigo em cada ambiente de cultivo, pois existe interação genótipo \times ambiente, sendo que a aplicação deste redutor de crescimento pode ser desnecessária em algumas situações, por exemplo em regiões de clima mais seco (principalmente no último quartil do ciclo da cultura).

ii) a melhor forma de manejar o acamamento de plantas é por meio do uso de cultivares de trigo tolerantes ao acamamento. No entanto, caso o agricultor decidir semear uma cultivar 'acamadora' é recomendável a aplicação preventiva de trinexapac-ethyl, principalmente quando associado a altas doses de N e a condições de alta precipitação pluviométrica;

iii) os efeitos positivos do trinexapac-ethyl sobre o aumento de rendimento de grãos, na ausência de adubação nitrogenada, necessitam ser melhor investigados por outros estudos, de modo a validar os resultados obtidos no presente trabalho;

iv) é recomendável a implantação de experimentos para avaliar a dose de trinexapac-ethyl a ser utilizada para cada cultivar de trigo, pois há situações em que uma menor dose do produto é suficiente para minimizar o acamamento de plantas, sem causar danos à qualidade fisiológica das sementes.

v) quando o objetivo do agricultor é a formação de 'campo comercial de produção de sementes', o uso do trinexapac-ethyl deve ser evitado sempre que possível. Caso necessário a utilização deste redutor de crescimento, recomenda-se avaliar a eficiência de ação de apenas metade da dose do produto comercial, além de reduzir a dose da adubação nitrogenada.

vi) deve-se avaliar tecnicamente a viabilidade econômica do uso do trinexapac-ethyl, considerando uma maior amplitude de resultados obtidos em ensaios de campo sob diferentes condições ambientais e materiais genéticos.

6. CONCLUSÕES

A adubação com maiores doses de N ocasionou efeitos negativos na cultura do trigo, como a redução do vigor das sementes produzidas, além do aumento do acamamento de plantas na região de Londrina. Além disso, as condições edafoclimáticas dos locais de cultivo influenciaram a resposta dos genótipos de trigo à adubação nitrogenada.

A pulverização de trinexapac-ethyl na lavoura de trigo prejudicou a qualidade fisiológica das sementes produzidas, reduzindo o comprimento e a matéria seca de plântulas. Porém, este efeito depende das condições edafoclimáticas de cada ambiente de cultivo.

O fator genético associado ao ambiente edafoclimático foram os principais determinantes das características agronômicas das plantas de trigo e fisiológicas das sementes produzidas, sobressaindo-se aos efeitos da adubação nitrogenada e da pulverização com trinexapac-ethyl.

Houve uma diversidade de interações entre os fatores estudados, que influenciaram diretamente as eficiências da adubação nitrogenada e do uso de trinexapac-ethyl.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A melhor forma de manejo do acamamento de plantas é por meio do uso de material genético tolerante a este problema, pois evita gastos adicionais pelo agricultor e reduz a probabilidade de danos à qualidade fisiológica de sementes (no caso de campos comerciais produtores de sementes de trigo). Portanto, este é um aspecto que deve ser considerado nos programas de melhoramento genético do trigo.

No entanto, quando o agricultor optar pela semeadura de uma cultivar 'acamadora' (normalmente devido à sua alta produtividade ou tolerância a doenças), a pulverização preventiva de trinexapac-ethyl é fundamental, principalmente quando a cultivar é responsiva à adubação nitrogenada. Neste contexto, o uso de trinexapac-ethyl permite a aplicação de maiores doses de N, com menor probabilidade de ocorrência de acamamento da lavoura, que pode alcançar maior rendimento de grãos.

Um dos problemas críticos do acamamento de plantas é sua influência negativa sobre a qualidade do trigo produzido, pois as espigas em contato com o solo são

expostas a condições de maior umidade que favorecem a infecção de fungos que deterioram grãos e sementes.

Sementes com alta qualidade fisiológica são fundamentais para o rápido desenvolvimento e estabelecimento inicial do estande de plantas, o que reduz a competição com plantas daninhas, mantendo o potencial produtivo da cultura. Desse modo, cuidados especiais devem ser tomados em campos comerciais de produção de sementes de trigo em relação à utilização de altas doses de trinexapac-ethyl e/ou de N, que podem comprometer a qualidade fisiológica das sementes produzidas.

A partir de uma análise global dos resultados obtidos e de referências de outros trabalhos da literatura, verifica-se que o trinexapac-ethyl é uma substância segura para aplicação na cultura do trigo considerando seus efeitos sobre a qualidade de grãos, pois não afetou o peso de mil grãos e nem o peso hectolítrico, que são bons indicadores de qualidade do trigo produzido.

Cada cultivar de trigo responde diferentemente à adubação nitrogenada e à aplicação de redutor de crescimento de plantas. Desse modo, deve-se especificar a recomendação de doses de N e de trinexapac-ethyl para cada material genético, considerando a interação entre estes dois fatores. Isto é importante para o agricultor melhorar a gestão de seu empreendimento, pois o produto Moddus® (que contém o trinexapac-ethyl) tem um custo aproximado de 60 R\$/ha, e o custo da adubação nitrogenada pode ultrapassar 450 R\$/ha.

REFERÊNCIAS

- ABATI, J.; BRZEZINSKI, C. R.; ZUCARELI, C.; WERNER, F.; HENNING, F. A. Seed vigor and amount of soybean straw on seedling emergence and productive performance of wheat. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 38, n. 4, p. 2179-2186, 2017.
- ARF, O.; NASCIMENTO, V.; RODRIGUES, R. A. F.; ALVAREZ, R. C. F.; GITTI, D. C.; SÁ, M. E. Uso de etil-trinexapac em cultivares de arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 150-158, 2012.
- ÁVILA, M. R.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; MARTORELLI, D. T.; ALBRECHT, L. P. Testes de laboratório em sementes de canola e a correlação com a emergência das plântulas em campo. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 27, n. 1, p. 62-70, 2005.
- BAALBAKI, R. Z.; ELIAS, S.; MARCOS FILHO, J.; McDONALD, M. B. **Seed vigor testing handbook**. Ithaca: AOSA, 2009.
- BARROS, A. S. R.; DIAS, M. C. L. L.; CICERO, S. M.; KRZYZANOWSKI, F. C. Testes de Frio, Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Org.) **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. p. 5.11-5.12.
- BECHE, E.; BENIN, G.; BORNHOFEN, E.; DALLÓ, S. C.; SASSI, L. H. S.; OLIVEIRA, R. Eficiência de uso de nitrogênio em cultivares de trigo pioneiras e modernas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, p. 948-957, 2014.
- BERBERT, P. A.; STENNING, B. C. Redução da influência da massa específica na determinação do teor de umidade de sementes de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 4, p. 641-650, 1999.
- BERTI, M.; ZAGONEL, J.; FERNANDES, E. C. Produtividade de cultivares de trigo em função do trinexapacethyl e doses de nitrogênio. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 8, p. 127-134, 2007.
- BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K.; HILHORST, H.; NONOGAKI, H. **Seeds: Physiology of development, germination and dormancy**. 3. ed. New York: Springer, 2013. 392 p.
- BIEZUS, E. **Adubação nitrogenada e redutor de crescimento trinexapaque-etílico na cultura do trigo**. 2010. 44 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)—Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2010.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF, 2009. 399 p.

BRAZ, A. J. B. P.; SILVEIRA, P. M.; KLIEMANN, H. J.; ZIMMERMANN, F. J. P. Adubação nitrogenada em cobertura na cultura do trigo em sistema de plantio direto após diferentes culturas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 2, p. 193-198, 2006.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Estádios fenológicos do trigo para a adubação nitrogenada em cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 317-323, 2001.

CARVALHO, G. P. **Efeitos do nitrogênio no crescimento e no metabolismo de frutanos em vernonia herbácea**. 2005. 116 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas)—Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012.

CHASTAIN, T. G.; YOUNG, W. C.; SILBERSTEIN, T.; GARBACIK, C. J. Performance of trinexapac-ethyl on *Lolium perenne* seed crops in diverse lodging environments. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 157, p. 65–70, 2014.

CHORBADJIAN, R. A.; BONELLO, P.; HERMS, D. A. Effect of the growth regulator paclobutrazol and fertilization on defensive chemistry and herbivore resistance of Austrian Pine (*Pinus nigra*) and Paper Birch (*Betula papyrifera*). **Arboriculture & Urban Forestry**, Champaign, v. 37, n. 6, p. 278–287, 2011.

COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE. **Informações técnicas para trigo e triticale - safra 2017**. 10. ed. SILVA, S. R.; BASSOI, M. C.; FOLONI, J. S. S. (Org.). Londrina: Embrapa Soja, 2017. 240 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **A cultura do trigo**. OLIVEIRA NETO, A. A.; SANTOS, C. M. R. (Org.). Brasília: Conab, 2017. 218 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Trigo – Análise mensal (Junho 2020)**. Brasília: Conab, 2020.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Série histórica das safras – Trigo**. Brasília: Conab. 2021.

COSTA, C. H. M.; VILELA, J. R. G.; SOUSA, A. L. S.; PAZ, R. B. O.; MOURA, B. F. S. Adubação nitrogenada e uso de regulador de crescimento na produção de trigo de sequeiro. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 14, n. 4, p. 1-9, 2018.

CRUZ, C. D. Genes – a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 35, p. 271-276, 2013.

CRUZ, P. J.; CARVALHO, F. I. F.; CAETANO, V. R.; SILVA, S. A.; KUREK, A. J.; BARBIERI, R. L. Caracteres relacionados com a resistência ao acamamento em trigo comum. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 4, p. 563-568, 2001.

DEDECCA, D. M.; PÚECHIO, M. J. Variedades agrícolas de trigo (*Triticum Aestivum* L.). **Bragantia**, Campinas, v. 12, p. 1-3, 1952.

DELOUCHE, J. C. Environmental effects on seed development and seed quality. **HortScience**, v. 15, n. 6, p. 775-780, 1980.

DOTTO, S. R.; BRUNETTA, D.; BASSOI, M. C.; SCHEEREN, P. L.; TAVARES, L. C. V. **Cultivar de trigo BRS 208: produtividade, rusticidade e qualidade**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. 22 p. (Circular Técnica, n. 31)

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Desenvolvimento de cultivares de feijão-caupi adaptadas às regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste**. Teresina: Embrapa Meio Norte, 2009. 12p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Trigo: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. DE MORI, C.; ANTUNES, J.M.; FAÉ, G.S.; ACOSTA, A.S. (Eds.). Brasília: Embrapa, 2016. 309 p (Coleção 500 perguntas, 500 respostas)

ERNANI, P. R.; SANGOI, L.; RAMPAZZO, C. Lixiviação e imobilização de nitrogênio num Nitossolo em função da forma de aplicação da ureia e da palha de aveia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 993-1000, 2002.

ESPINDULA, M. C.; ROCHA, V. S.; GROSSI, J. A. S.; SOUZA, M. A.; SOUZA, L. T.; FAVARATO, L. F. Use of growth retardants in wheat. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 379-387, 2009.

ESPINDULA, M. C.; ROCHA, V.S.; SOUZA, M.A.; GROSSI, J.A.S.; SOUZA, L.T. Doses e formas de aplicação de nitrogênio no desenvolvimento e produção da cultura do trigo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 6, p. 1404-1411, 2010a.

ESPINDULA, M. C.; ROCHA, V. S.; SOUZA, L. T.; SOUZA, M. A.; GROSSI, J. A. S. Efeitos de reguladores de crescimento na elongação do colmo de trigo. **Acta Scientiarum.Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 1, p. 109-116, 2010b.

ESPINDULA, M. C.; CAMPANHARO, M.; ROCHA, V. S.; MONNERAT, P. G.; FAVARATO, L. F. Composição mineral de grãos de trigo submetidos a doses de sulfato de amônio e trinexapac-etil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, p. 513-520, 2010c.

FERNANDES, C. E. **População de plantas e reguladores de crescimento afetando a produtividade de cultivares de trigo**. 2009. 99 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)—Universidade Federal de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2009.

FINCH-SAVAGE, W. E.; BASSEL, G. W. Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. **Journal of Experimental Botany**, Colchester, v. 67, n. 3, p. 567-591, 2015.

FIGEZE, S. L.; RODRIGUES, J. D. Componentes produtivos do trigo afetados pela densidade de semeadura e aplicação de regulador vegetal. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 1, p. 39-54, 2014.

FLANDRIN, J. L.; MONTANARI, M. **História da alimentação**. São Paulo: Estação Liberdade, 1998.

FOLONI, J. S. S.; BASSOI, M. C.; SILVA, S. R. **Indicações fitotécnicas para cultivares de trigo da Embrapa no Paraná (2ª aproximação)**. Londrina: Embrapa Soja, 2016. 24 p. (Circular Técnica, n. 117)

FRANÇA NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A. A importância do uso de sementes de soja de alta qualidade. **Informativo Abrates**, Londrina, v. 20, n. 1-2, p. 37-38, 2010.

GERMANO, I. **Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de cultivares de trigo**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia)–Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2013.

GUERREIRO, R. M.; OLIVEIRA, N. C. Produtividade de grãos de aveia branca submetida a doses de trinexapac-ethyl. **Publicatio UEPG. Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharia**, Ponta Grossa, v. 7, p. 27-36, 2012.

GUSTAFSON, D. J.; GIBSON, D. J.; NICKRENT, D.L. Competitive relationships of *Andropogon gerardii* (Big Bluestem) from remnant and restored native populations and select cultivated varieties. **Functional Ecology**, London, v. 18, n. 3, p. 451-457, 2004.

HAJIHASHEMI, S.; KIROSTAMI, K.; SABOORA, A.; ENTESHARI, S. Exogenously applied paclobutrazol modulates growth in salt-stressed wheat plants. **Plant Growth Regulation**, New York, v.53, p.117-128, 2007.

HAMPTON, J.G. Vigour testing within laboratories of the International Seed Testing Association: a survey. **Seed Science and Technology**, v. 20, p. 199-203, 1992.

HECKMAN, N. L.; ELTHON, T. E.; HORST, G. L.; GAUSSOIN, R. E. Influence of trinexapac-ethyl on respiration of isolated wheat mitochondria. **Crop Science**, Hoboken, v. 42, p. 423-427, 2002.

KASPARY, T. E.; LAMEGO, F. P.; BELA, C.; KULCZYNSKI, S. M.; PITTO, D. Regulador de crescimento na produtividade e qualidade de sementes de aveia-branca. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 739-750, 2015.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H.; THUNG, M.; OLIVEIRA, F. R. A.; COBUCCI, T. **Manejo antecipado do nitrogênio nas principais culturas anuais**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 66 p. (Documentos, n. 188)

KOLCHINSKI, E. M.; SCHUCH, L. O. B. Atributos de desempenho industrial e qualidade de sementes em aveia branca em função da disponibilização da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 3, p. 587-589, 2003.

KOLCHINSKI, E. M.; SCHUCH, L. O. B. Relações entre a adubação nitrogenada e a qualidade de grãos e de sementes em aveia branca. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 379-383, 2004.

KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA NETO, J. B.; HENNING, A. A. Relato dos testes de vigor disponíveis para as grandes culturas. **Informativo ABRATES**, Londrina, v. 1, n. 2, p. 15- 50, 1991.

LIMA, C. T.; MEDINA, F. P.; FANAN, S. Avaliação do vigor de sementes de trigo pelo teste de envelhecimento acelerado. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 28, n. 1, p. 106-113, 2006.

LOZANO, C. M.; LEADEN, M. I. **Novedades sobre el uso de reguladores de crecimiento en trigo**. Jornadas de actualizacion profesional: Trigo, 2001. p. 34-35.

LUDWIG, M. P.; SCHUCH, L. O. B.; LUCCA FILHO, O. A.; AVELAR, A. A. G.; MIELEZRSKI, F.; OLIVEIRA, S.; CRIZEL, R. L. Desempenho de sementes e plantas de milho híbrido originadas de lotes de sementes com alta e baixa qualidade fisiológica. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 8, n. 1, p. 83-92, 2009.

MACIEL, J. S.; MARTIN, T. N.; LUDWIG, R. L.; ROCKEMBACK, D. Importância da escolha da cultivar de trigo para plantios na região Sul. **Grandes Culturas Cultivar**, Ano XV, n. 181, 2014.

MAGGIAN, R. C.; FELIPE, F. I. Aspectos da competitividade da cadeia tritícola no Brasil e na Argentina. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 47., 2009, Porto Alegre. **Anais...** Piracicaba: Esalq/USP, 2009. p.

MAIA, A. R.; LOPES, J. C.; TEIXEIRA, C. O. Efeito do envelhecimento acelerado na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de trigo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 3, p. 678-684, 2007.

MALAVASI, M. M. Germinação de sementes. In: PIÑA-RODRIGUES, F. C. M. (Org.). **Manual de análise de sementes florestais**. Campinas: Fundação Cargill, 1988. p. 44-67.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 251 p.

MARCHESE, J. A.; SUCHORONCZEK, A.; CIVIEIRO, J. C.; ASCARI, C. L.; FEDRIGO, K. Efeito do trinexapac-etil associado à adubação nitrogenada elevada e parcelada na produtividade do trigo cultivar BRS-220. **Applied Research & Agrotechnology**, Guarapuava, v. 9, n. 1, p. 105-111, 2016.

MARCOS FILHO, J. Testes de vigor: importância e utilização. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Eds). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. p. 1-21.

MARCOS FILHO, J. Importância do potencial fisiológico da semente de soja. **Informativo Abrates**, Londrina, v. 23, n. 1, p. 21-24, 2013.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed. Londrina: ABRATES, 2015a. 660 p.

MARCOS FILHO, J. Seed vigor testing: An overview of the past, present and future perspective. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 72, n. 4, p. 363-374, 2015b.

MARTINI JUNIOR, P. C.; FERREIRA, D. T. L.; MOREIRA, G. C. Características agrônômicas da cultivar de trigo CD 114 submetido à aplicação de adubação nitrogenada em cobertura. **Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 4, n. 3, p.158-172, 2011.

MASSAROTO, J. A.; REIS, W. P.; SILVA, R. R.; SOARES, A. A.. Comportamento de cultivares de trigo sob diferentes doses de adubação para manutenção de plantio no Brasil Central. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 54, n. 314, p. 362-366, 2007.

MATYSIAK, K. Influence of trinexapac-ethyl on growth and development of winter wheat. **Journal of Plant Protection Research**, Poznań, v. 46, n. 2, p. 133-143, 2006.

MEGDA, M. M.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO, M. M. C.; VIEIRA, M. X. Resposta de cultivares de trigo ao nitrogênio em relação às fontes e épocas de aplicação sob plantio direto e irrigação por aspersão. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 4, p. 1055-1060, 2009.

MELLO, F.A.F. **Ureia fertilizantes**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 192 p.

MIELNICZUK, J. Adubação nitrogenada. In: OSORIO, E. A. (Ed.). **Trigo no Brasil**. Campinas: Fundação Cargil, 1982. p. 291-317.

MORI, C.; IGNACZAK, J. C. Aspectos econômicos do complexo agroindustrial do trigo. In: Pires, J. L. F.; Vargas, L.; Cunha, G. R. (Eds.). **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. p. 41-76.

MOTTER, L. **Influência da adubação nitrogenada e de Etil-Trinexapac no crescimento e produtividade de trigo**. 2007. 49 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)—Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2007.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYŻANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Eds.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. p. 9-15.

NOVAIS, R. F.; ALVARES V., V. H; BARROS, N. F.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo**. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1007 p.

PAGLIOSA, E. E.; BENIM, G.; BIEZUS, E.; BECHE, E.; SILVA, C. L.; MARCHESE, J. A.; MARTIN, T. N. Trinexapac-ethyl e adubação nitrogenada na cultura do trigo. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 623-630, 2013.

PEAKE, A. S.; BELL, K. L.; FISCHER, R. A.; GARDNER, M.; DAS, B. T.; POOLE, N.; MUMFORD, M. Cultivar x management interaction to reduce lodging and improve grain yield of irrigated spring wheat: optimising plant growth regulator use, N application timing, row spacing and sowing date. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 11, Article 401, 2020.

PENCKOWSKI, L. H.; ZAGONEL, J.; FERNANDES, E. C. Nitrogênio e redutor de crescimento em trigo de alta produtividade. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v. 31, n. 3, p. 473-479, 2009.

PENCKOWSKI, L. H.; ZAGONEL, J.; FERNANDES, E. C. Qualidade industrial do trigo em função do trinexapac-ethyl e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 6, p. 1492-1499, 2010.

PETROCZI, I. M.; KOVACS, Z.; BONA, L. Influences of agronomical factors on the yield and quality of winter wheat. **Cereal Research Communications**, New York, v. 36, p. 1799-1802, 2008.

PIRES, J. L. F.; LIMA, M. I. P. M.; VOSS, M.; SCHEEREN, P. L.; WIETHÖLTER, S.; CUNHA, G. R.; IGNACZAK, L. C.; CAIERÃO, E. **Avaliação de cultivares de trigo em sistema de manejo tradicional e otimizado**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2005. 19 p. (Documentos Online, n. 54)

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. 2. ed. Brasília: AGIPLAN, 1985. 289 p.

PÖTTKER, D.; ROMAN, E. S. Efeito do nitrogênio em trigo cultivado após diferentes sucessões de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. especial, p. 501-507, 1998.

PRADO, R. M. Estado nutricional da semente repercute na sua qualidade. **Seed News**, Pelotas, v. 8, n. 4, p. 18-21, 2004.

PRANDO, A. M.; ZUCARELI, C.; FRONZA, V.; OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. Características produtivas do trigo em função de fontes e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 1, p. 34-41, 2013.

RADEMACHER, W. Growth retardants: effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 51, p. 501-31, 2000.

RODRIGUES, O.; VARGAS, R. **Efeito de redutor de crescimento cycocel e de altas doses de adubação nitrogenada em trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2002. 23 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento Online, n. 7)

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; TEIXEIRA, M. C. C.; ROMAN, E. S. **Redutores de crescimento**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2003. 18 p. (Circular Técnica, n. 14)

SÁ, J. C. M. Parâmetros para recomendação de calagem e adubação no sistema de plantio direto. In: CONFERÊNCIA ANUAL DE PLANTIO DIRETO, 2., 1997, Pato Branco. **Anais....** Passo Fundo: Aldeia Norte, 1997. p. 63-81.

SANGOI, L.; BERNIS, A. C.; ALMEIDA, M. L.; ZANIN, C. G.; SCHWEITZER, C. Características agrônômicas de cultivares de trigo em resposta à época da adubação nitrogenada de cobertura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 6, p. 1564-1570, 2007.

SANTOS, P. M.; GONDIM, T. C. O.; ARAÚJO, E. F.; DIAS, D. C. F. S. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de milho-doce pelo teste de envelhecimento acelerado. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 24, n. 1, p. 91-96, 2002.

SAWAN, Z. M. Direct and residual effects of plant nutrition's and plant growth retardants, on cottonseed. **Agricultural Sciences**, Wuhan, v. 4, n. 12, p. 66-88, 2013.

SCHUCH, L. O. B.; NEDEL, J. L.; ASSIS, F. N.; MAIA, M. S. Vigor de sementes de populações de aveia preta: II. Desempenho e utilização de nitrogênio. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 127-127, 2000.

SCHUCH, L. O. B.; KOLCHINSKI, E. M.; FINATTO, J. A. Qualidade fisiológica da semente e desempenho de plantas isoladas em soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 144-149, 2009.

SENGER, M. **Influência do nitrogênio, regulador de crescimento e densidade de semeadura na produtividade e na qualidade industrial do trigo**. 2017. 154 f. Tese (Doutorado em Agronomia)–Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2017.

SILVA, M. S.; ANDRADE, J. M. V.; ALBRECHT, J. C.; SOBRINHO, J. S. CANOVAS. A. No Brasil Central também dá trigo. **Revista Cultivar Grandes Culturas**, Pelotas, n. 27, p. 18-23, 2001.

SILVA, C. L.; BENIN, G.; BORNHOFEN, E.; TODESCHINI, M. H.; DALLO, S. C.; SASSI, L. H. S. Characterization of Brazilian wheat cultivars in terms of nitrogen use efficiency. **Bragantia**, Campinas, v. 73, p. 87-96, 2014.

SILVA, P. R. F.; STRIEDER, M. L.; COSER, R. P. S.; RAMBO, L.; SANGOI, L.; ARGENTA, G.; FORSTHOFER, E. L.; SILVA, A. A. Grain yield and kernel protein content increases of maize hybrids with late nitrogen side-dresses. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 62, n. 5, p. 487-492, 2005.

SOUSA, C. N. A. O acamamento e a reação de cultivares de trigo recomendadas no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, p. 537-541, 1998.

SOUZA, C. A.; FIGUEIREDO, B. P.; COELHO, C. M. M.; CASA, R. T.; SANGOI, L. Arquitetura de plantas e produtividade da soja decorrente do uso de redutores de crescimento. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 3, p. 634-643, 2013.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

SRIVASTAVA, L. M. **Plant growth and development**. Hormones and the environment. Amsterdam: Academic Press, 2002. 772 p.

STEFEN, D. L. V.; SOUZA, C. A.; COELHO, C. M. M.; TORMEN, M. E.; ZANESCO, P. R.; CASA, R. T.; SANGOI, L.; NUNES, F. R. Adubação nitrogenada associada ao emprego de reguladores de crescimento em trigo cv. Mirante. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 13, n. 1, p. 30-39, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. 5. ed. Sunderland: Sinauer Associates Inc., 2010. 782 p.

TEIXEIRA-FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; ALVAREZ, R. C. F.; FREITAS, J. G.; ARF, O.; SÁ, M. E. Resposta de cultivares de trigo irrigados por aspersão ao nitrogênio em cobertura na região do Cerrado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 3, p. 421-425, 2007.

TEIXEIRA-FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; BENETT, C. G. S. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo irrigado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 8, p. 797-804, 2010.

TOLEDO, M. Z.; FONSECA, N. R.; CÉSAR, M. L.; SORATTO, R. P.; CAVARIANI, C.; CRUSCIOL, C. A. C. Qualidade fisiológica e armazenamento de sementes de feijão em função da aplicação tardia de nitrogênio em cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 2, p. 124-133, 2009.

TONIN, G. A.; GATTI, A. B.; CARELLI, B. P.; PEREZ, S. C. J. G. A. Influência da temperatura de condicionamento osmótico na viabilidade e no vigor de sementes de *Pterogyne nitens* Tull. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 27, n. 2, p. 35-43, 2005.

TRINDADE, M. G.; STONE, L. F.; HEINEMANN, A. B.; CÁNOVAS, A. D.; MOREIRA, J. A. A. Nitrogênio e água como fatores de produtividade do trigo no cerrado. **Revista**

Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 24-29, 2006.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **World Agricultural Production**. Washington: USDA, Foreign Agricultural Service, 2021. 38 p. (Circular Series, WAP 1-21, January 2021)

VIEIRA, R. D. D.; CARVALHO, N. M. **Teste de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. 164 p.

VIEIRA, R. D.; BITTENCOURT, S. R. M.; PANOBIANCO, M. Vigor: um componente de qualidade de sementes. **Informativo ABRATES**, Londrina, v.11, n.2, p. 199, 2001.

XIONG, W.; ASSENG, S.; HOOGENBOOM, G.; HERNANDEZ-OCHOA, I.; ROBERTSON, R.; SONDER, K.; PEQUENO, D.; REYNOLDS, M.; GERARD, B. Different uncertainty distribution between high and low latitudes in modelling warming impacts on wheat. **Nature Food**, New York, v. 1, p. 63-69, 2020.

WIETHÖLTER, S. Fertilidade do solo e a cultura do trigo no Brasil. In: Pires, J. L. F.; Vargas, L.; Cunha, G. R. (Eds.). **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. p. 135-185.

YANO, G. T.; TAKAHASHI, H. W.; WATANABE, T. S. Avaliação de fontes de nitrogênio e épocas de aplicação em cobertura para o cultivo do trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 2, p. 141-148, 2005.

ZADOKS, J. C.; Chang, T. T.; Konzak, C. F. A. A decimal code for the growth stages of cereals. **Weed Research**, Oxford, v. 14, p. 415-421, 1974.

ZAGONEL, J.; VENANCIO, W. S.; KUNZ, R. P. Efeito de regulador de crescimento na cultura de trigo submetido a diferentes doses de nitrogênio e densidades de plantas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 3, p. 471-476, 2002a.

ZAGONEL, J.; VENANCIO, W. S.; KUNZ, R. P.; TANAMATI, H. Doses de nitrogênio e densidades de plantas com e sem um regulador de crescimento afetando o trigo, cultivar OR-1. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 25-29, 2002b.

ZAGONEL, J.; FERNANDES, E. C. Doses e épocas de aplicação do redutor de crescimento afetando cultivares de trigo em duas doses de nitrogênio. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, p. 331-339, 2007.

ZANATTA, A. C. A.; OERLECKE, D. Efeitos de genes de nanismo sobre alguns caracteres agrônômicos e morfológicos de *Triticum aestivum* (L.) Thell. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26 p. 1001-1016, 1991.